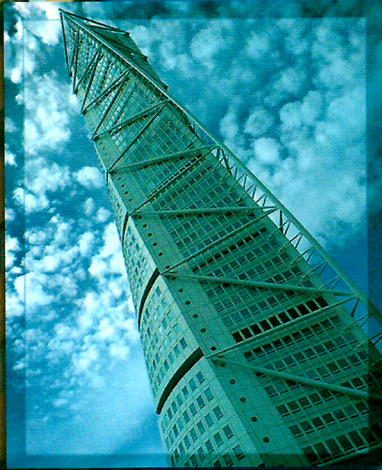


أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

الأستاذ الدكتور

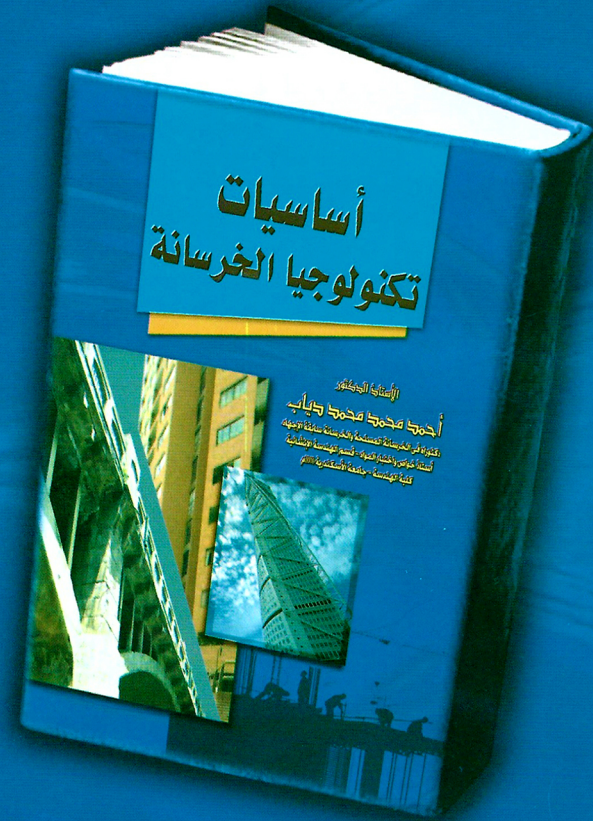
أحمد محمد دياب

دكتوراه في الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد
أساتذة خواص واختبار المواد - قسم الهندسة الإنشائية
كلية الهندسة - جامعة الإسكندرية



أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

أ.د. أحمد محمد دياب



SCANED BY
ENG.OSAMA TAREK

الباب الخامس

تصميم الخلطات الخرسانية (Concrete Mix Design)

1-5 مقدمة:

المقصود بتصميم الخلطة الخرسانية ، هو تحديد مكونات الخلطة من رمال وركام كبير وأسمنت وماء وإضافة إن لزم الأمر. وهذه الخلطة يجب أن تحقق الخواص المرغوبة في كلا من الخرسانة الطازجة والخرسانة المتصلدة للمنشأ. وحيث أن الركام لا يلعب دوراً أساسياً في التأثير على مقاومة الخرسانة العادية الوزن ذات مقاومة ضغط مميزة أقل من 40 ن/مم²، وذلك بعكس الخرسانة الخفيفة أو الخرسانة الثقيلة، فإن مونة الأسمنت تلعب الدور الهام في هذا الأمر. ومن المعلوم أن المادة الفعالة عند إمهاة الأسمنت والماء هي سيليكات الكالسيوم المماهة، وهي ناتجة عن إمهاة كلاً من ثالث وثاني سيليكات الكالسيوم، وهذه المادة يطلق عليها جل الأسمنت. وهي تتميز باللدونة في مرحلة الخرسانة الطازجة، وتتميز بكونها مادة شديدة الصلابة ثابتة كيميائياً في حالة الخرسانة المتصلدة. وهذه المادة تعمل أساساً على ربط جزيئات الخرسانة ببعضها ببعض. وكلما زاد تركيز جل الخرسانة، تحسنت جميع مقاومتها وتحسنت تحمليتها. ويمكن التعرف على توزيع الفراغات والجل داخل الخلطة الخرسانية بفحص عينة من الخرسانة، كما هو موضح بشكل (1-5).

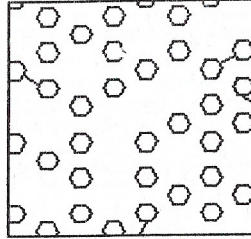
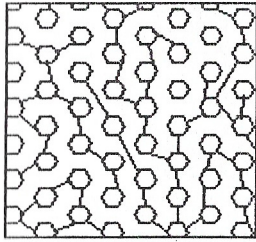
ومن الواضح من شكل (1-5-ب)؛ الذي يمثل توزيع الجل في حالة نسبة ماء إلى أسمنت مرتفعة، أن تركيز الجل قليل، وأن الفراغات بها نسبة عالية متصلة ببعضها. وفي حالة نسبة ماء إلى أسمنت منخفضة (مثل خلطة خرسانية بها نسبة الماء إلى الأسمنت = 0.4) من الواضح أن تركيز الجل فيها عالي، وأن الفراغات فيها أقل إتصالاً. وبناءً على ماسبق يتضح أهمية نسبة الماء إلى الأسمنت في الخلطة الخرسانية؛ حيث كلما قلت تلك النسبة، يزيد تركيز المادة الجامدة وتقل نسبة الفراغات المتصلة، وعليه تتحسن مقاومة الضغط وتحملية الخرسانة، ويتضح ذلك من شكل (2-5) الذي يوضح العلاقة بين w/c ومقاومة الضغط لعدة دراسات سابقة.

وعلى هذا الأساس، استخدمت جميع الكودات العالمية نسبة الماء إلى الأسمنت كعامل أساسي؛ لتحقيق مقاومة الضغط المطلوبة وتحقيق تحملية مطلوبة للمنشأ لكي يخدم بأمان خلال عمره الافتراضي.

2-5 العوامل المؤثرة على تصميم الخلطة:

يمكن تلخيص العوامل تلك في الشكل (3-5) وتلك العوامل تعتمد أساساً على خواص المواد المستخدمة في الخلطة وطريقة التنفيذ ونوع الدمك وخواص المنشأ من جهة قطاعاته وتسليحه ومتطلبات المنشأ من جهة الظروف المحيطة به ومقاومة الضغط التصميمية له ومستوى الشركة المنفذه.

فراغات غير شعرية فراغات شعرية



خرسانة
W/C=0.70
C=400 Kg/m³

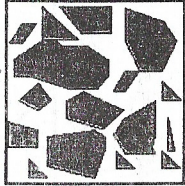
خرسانة
W/C=0.40
C=400 Kg/m³

W/C (water cement ratio)
C (cement content)

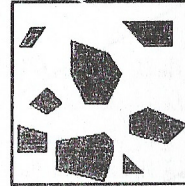
شكل (1-5-أ) زيادة نسبة الفراغات الشعرية بزيادة W/C

نسبة الماء إلى
الأسمنت منخفضة

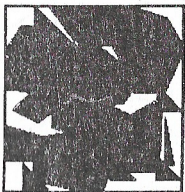
حببيات الأسمنت
معلقة في الماء



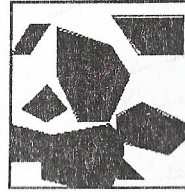
نسبة الماء إلى
الأسمنت مرتفعة



أسمنت مماء
بالكامل

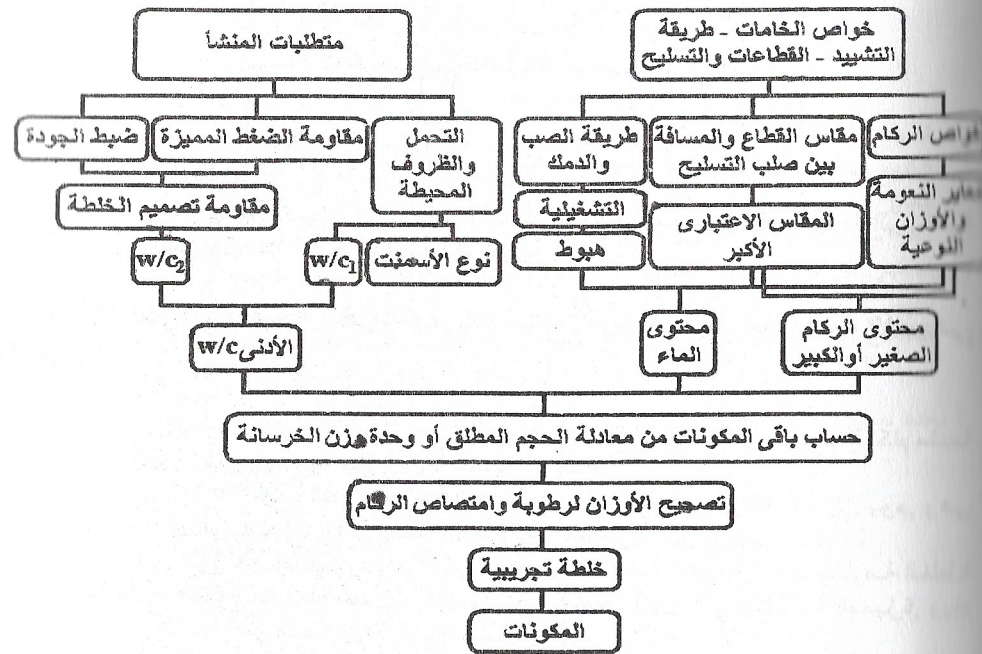


إنفاذية قليلة
=
مقاومة عالية



إنفاذية عالية
=
مقاومة قليلة

شكل (1-5-ب) زيادة الجل ونقص الإنفاذية بنقص نسبة الماء للأسمنت



شكل (3-5) العوامل المؤثرة على تصميم الخلطة .

3-2-1 تحديد المقاومة التصميمية للخلطة الخرسانية:

Mean Strength or Mix Design Strength:

الوقوف قيمة المقاومة التصميمية للخلطة (F_m) على المقاومة المميزة للخرسانة (F_{cu})؛ والتي يقوم المهندس باختيارها على أساس نوعية المنشأ المزمع إنشاؤه وأهميته، وكذلك على مستوى الشركة المنفذة وجودتها؛ وذلك على أساس نتائج للأعمال السابقة لها. ويظهر جودة تحكم الشركة في قيمة الانحراف المعياري (S) للمقاومات، الذي يعبر عن مدى مستوى أعمالها. ويمكن حساب المقاومة المتوسطة أو المستهدفة باستخدام المعادلة الآتية:

$$F_m = F_{cu} + M$$

حيث M هو هامش الأمان (Margin).

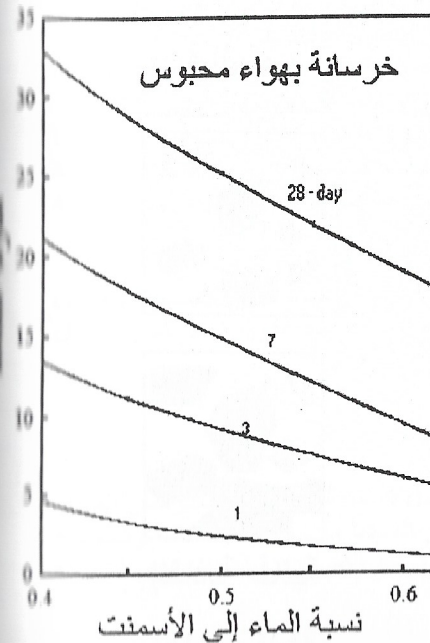
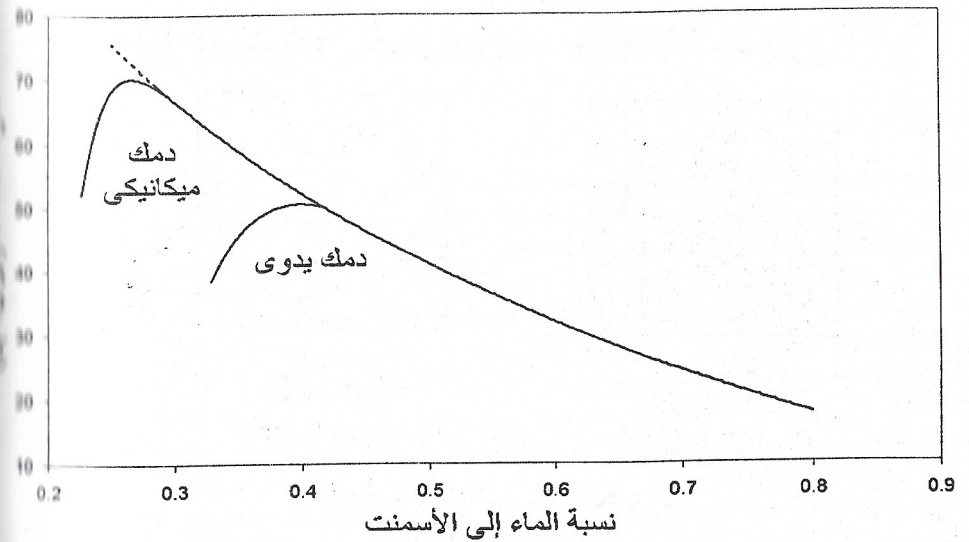
ويعتمد معامل الأمان (M) على مدى الاختلاف الذي يحدث أثناء تنفيذ المشروع؛ من اختلاف وتغير للمواد المستعملة وعدم وجود رقابة، وكذلك مقدار التغير الحادث أثناء أخذ العينات والاختبارات. ويمكن حساب معامل الأمان باستخدام المعادلة الآتية:

$$M = KS$$

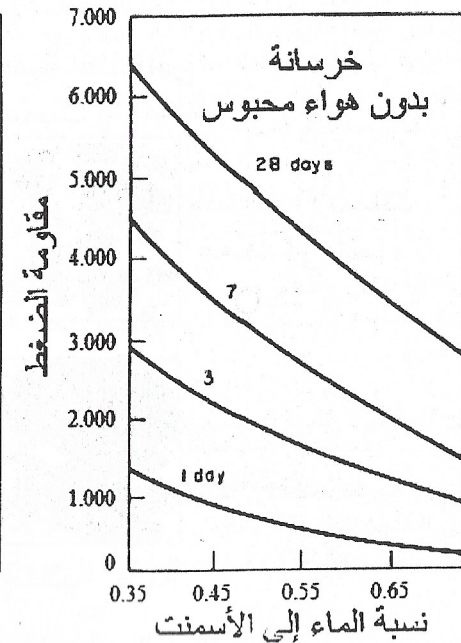
حيث S الانحراف المعياري للمقاومات،

K يعتمد على نسبة عدد الاختبارات التي من المتوقع أن تعطى مقاومة أقل من F_{cu} ، ويمكن تحديد قيمته من جدول (1-5).

جدول (1-5) قيم المعامل الإحصائي K



نسبة الماء إلى الأسمنت



نسبة الماء إلى الأسمنت

شكل (2-5) علاقات مختلفة بين نسبة الماء إلى الأسمنت ومقاومة الضغط

$$C = \frac{W}{W/C}$$

قامت هذه الطريقة بعمل دراسة معملية عن طريق المحاولة والخطأ؛ لتحديد حجم الركام الكبير بالمتر المكعب اللازم لإنتاج متر مكعب خرسانة في حالة استخدام رمال ذات معايير نعومة مختلفة، وذلك للأنواع المختلفة من الركام الكبير (ركام ذو مقاس اعتباري أكبر متغير)، وهذا موضح بالجدول (5-7). وعليه فإنه بمعلومية المقاس الاعتباري الأكبر للركام الكبير ومعايير نعومة الرمل المستخدم، نحدد حجم الركام الكبير (Vg) بالمتر المكعب اللازم لإعطاء 1 م³ من الخرسانة، جدول (5-7). ويلاحظ أنه كلما زاد المقاس الاعتباري الأكبر تزيد الحاجة للركام الكبير لزيادة نسبة الفراغات فيه. وبالمثل تزداد الحاجة للركام الكبير كلما قل معايير نعومة الرمال المستخدمة.

يحدد حجم الركام الكبير الجامد بدون فراغات كما يلي:
- يحدد وزن الركام الكبير (Wg).

$$Wg = \gamma Vg$$

- يحدد الحجم الجامد للركام الكبير بدون فراغات (Vgs) من المعادلة:

$$Vgs = \frac{Wg}{Gsg}$$

حيث Vg حجم الركام بما فيه من فراغات.
γ وحدة الوزن للركام الكبير.
Gsg الوزن النوعي للركام الكبير.

10. يتم تحديد حجم الرمل الجامد المستخدم من معادلة الحجم المطلق التالية:

$$W/1 + C/3.15 + Vgs + Vss + A = 1$$

حيث C وزن الأسمنت ووزنه النوعي = 3.15.
W وزن الماء ووزنه النوعي = 1.
Vgs الحجم الجامد للركام الكبير.
Vss الحجم الجامد للرمال.
A محتوى الهواء المحبوس.

وبلاحظ أن الطريقة السابقة تفترض أن أحجام المواد الجامدة للأسمنت والماء والرمل والركام الكبير والهواء المحبوس عرضاً بعد الدمك تعطى 1 م³ خرسانة.

11. يتم تحديد وزن الرمل (Ws) بمعلومية حجمه الجامد؛ $Vgs \cdot Gss = (Ws)$ ، وبالتالي أمكننا تحديد مكونات الخلطة التجريبية من محتوى ماء وركام كبير وركام صغير وأسمنت.

12. يجب عمل خلطات تجريبية وقياس الهبوط ووحدة الوزن ومقاومة الضغط في زمن مبكر وبعد 28 يوم. وإن وجد هناك اختلاف في وحدة الوزن، فيجب ضبط نسب الخلط وكذلك الهبوط. ويمكن عن طريق هذه النسب المعدلة تحديد كلاً من الحصيلة ومعامل الأسمنت.

13. يتم عن طريق معرفة سعة الخلطة المستخدمة تصميم العنوت.

K	نسبة عدد الإختبارات التي من المتوقع أن تقل عن Fcu بمقدار
2.33	% 1
1.64	% 5
1.28	% 10

والجدول السابق يوضح الاحتمالات المستخدمة في الكود المصري والمواصفة البريطانية والألمانية، وسيتم تناول هذا الأمر بالتفصيل في نهاية الباب.

3-5 طريقة تصميم الخلطة الخرسانية باستخدام طريقة معهد الخرسانة الأمريكي (ACI):

يمكن تصميم الخلطة الخرسانية بناءً على تلك الطريقة التي تفترض أن حبيبات الركام مشبعة داخلياً تماماً بالماء ولكن سطحها جاف، تدعى للخطوات التالية:

1. بناءً على نوع المنشأ تحدد مقاومة الضغط التصميمية للاسطوانة بعد 28 يوم، وهي المقاومة المطلوب تصميم مقاطعات المنشأ عليها (المقاومة المميزة).
2. بناءً على الشركة المنفذة وجودة التحكم وطريقة التنفيذ المتبعة، نحدد مقاومة الخلطة التصميمية (المقاومة المتوسطة)، وذلك بإضافة هامش أمان إلى المقاومة المميزة، ويتم تعيينه بالطريقة الموضحة لاحقاً في ضبط الجودة.

3. بناءً على المحاجر القريبة نحدد نوع الركام الكبير، ونحدد المقاس الاعتباري الأكبر للركام الكبير $= 1/2$ المسافة الخالصة بين حديد التسليح و $1/4$ البعد الأدنى في القطاع الخرساني، ويوجد جدول تنص عليه ACI لحساب المقاس الاعتباري الأكبر ولكنه غير مناسب للإستخدام في مصر. ثم نحدد وحدة الوزن للركام الكبير (γ) والوزن النوعي لكلاً من الرمل والركام الكبير (Gsg, Gss على الترتيب).

4. يحدد قوام الخرسانة المناسب بناءً على نوع المنشأ ويتم تحديد الهبوط المستخدم، ومن المناسب كذلك أن يأخذ المصمم نوع وطريقة الصب والتشديد في الاعتبار، جدول (5-2).

5. بمعلومية المقاس الاعتباري الأكبر للركام والقوام، نحدد كمية المياه بالتر/م³ خرسانة (محتوي الماء = W)، وذلك من جدول (5-3)، سواء كانت الخرسانة بها هواء محبوس أم لا (الهواء المحبوس لمقاومة تكون وذوبان الثلج)، وتحدد نسبة الهواء من نفس الجدول.

6. طبقاً للظروف المحيطة والعوامل الكيميائية وطريقة التشديد، نحدد نوع الأسمنت المستخدم.

7. نحدد نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C) من جدول (4-5) بناءً على مقاومة الاسطوانة للضغط المتوسطة، ومن جدول (5-5) في حالة تعرض المنشأ لهجومه بالكبريتات أو تعرضه لظروف أو مهاجمات أخرى غير مناسبة كما بجدول رقم (6-5) (شرط التحمل) ويقوم المهندس باختيار نسبة الماء إلى الأسمنت الأقل التي تحقق شرط المقاومة وشرط التحمل ويختار نوع الأسمنت ومقاومة الضغط الدنيا. والمعادلة التالية تربط بين مقاومة ضغط الخرسانة للاسطوانة (Fcy) ومقاومتها للمكعب Fcu بالكم/سم².

$$Fcy = (0.76 + 0.2 \log \frac{Fcu}{200}) Fcu$$

8. بمعرفة نسبة الماء إلى الأسمنت نحدد محتوى الأسمنت.

14. يجب عمل خلطات فى الموقع وقياس الهبوط وتحديد مقاومة الضغط فى ظروف الموقع.

* ملاحظات:

- يجب تعديل نسب الخلط على أساس نسبة الرطوبة الموجودة بالركام، وكذلك نسبة امتصاص الركام للمياه. فإذا احتوى الركام على رطوبة حرة قيمتها $m\%$ من وزن الركام الجاف، فيمكن إيجاد كمية المياه الموجودة فى الركام (X) من المعادلة الآتية:

$$m/100 = \frac{X}{A - X}$$

$$X = A \frac{m}{100 + m}$$

حيث A هي وزن الركام فى صورته الطبيعية و X هي كمية المياه.

ويكون وزن الركام المصحح (A') كما يلى:

$$A' = A + X$$

ويكون محتوى الماء W'

$$W' = W - X$$

- أما إذا كان للركام الجاف (A) نسبة امتصاص (n)، فيمكن حساب كمية المياه الممتصة (X_a).

$$X_a = A \frac{n}{100}$$

وتضاف هذه القيمة إلى وزن الماء، فيصبح وزن الماء المصحح (W').

$$W' = W - X$$

ومن المهم التنبيه أنه يجب إضافة وزن الماء الممتص إلى كثافة الخرسانة النظرية.

جدول (3-5) محتوى الماء التقريبي بالكم للمتر المكعب، وكذلك محتوى الهواء المحبوس*

المقاس الاعتبارى الاكبر للركام مم							هبوط (سم)
70	50	40	25	20	12.5	10	
خرسانة بدون هواء محبوس							
145	155	160	180	185	200	205	5-2.5
160	170	175	195	200	215	225	10-7.5
170	180	185	205	210	230	240	18-15
0.30	0.5	1	1.5	2	2.5	3	نسبة الهواء
خرسانة ذات هواء محبوس							
135	140	145	160	165	175	180	5-2.5
150	155	160	175	180	190	200	10-7.5
160	165	170	185	190	205	215	18-15
3.5	4	4.5	4.5	5	5.5	6	نسبة الهواء المحبوس بحر متوسط القساوة

* قيم محتوى الماء موضوعه لركام مكسر ويجب تخفيض 18 كجم عند استخدام ركام دائري

جدول (4-5) يبين مقاومة ضغط الاسطوانة بعد 28 يوم ونسبة الغاء إلى الأسمنت

مقاومة الضغط كجم/سم ²		نسبة الماء إلى الأسمنت بالوزن	
		خرسانة ذات هواء محبوس	خرسانة بدون هواء
450	0.37	-	-
400	0.42	-	-
350	0.47	0.39	0.47
300	0.54	0.45	0.54
250	0.61	0.52	0.61
200	0.69	0.60	0.69
150	0.80	0.71	0.80

جدول (5-5) متطلبات تحمل خرسانة تتعرض لمهاجمة الكبريتات.

المقاومة الدنيا (N/mm^2)	W/C	نوع الأسمنت	SO ₄ فى الماء (جزء فى المليون)	المهاجمة بالكبريتات
-	-	-	0 < SO ₄ < 150	مهلة
28	0.50	بورتلاندى مخلوط أسمنت معدل	150 < SO ₄ < 1500	متوسطة
31	0.45	أسمنت مقاوم للكبريتات	1500 < SO ₄ < 10000	عالية
31	0.45	أسمنت مقاوم للكبريتات + مادة بوزولانية	SO ₄ > 10000	عالية جداً

مادة البوزولانية يجب أن يثبت بالاختبار أنها تحسن من مقاومة الكبريتات.

جدول (2-5) الهبوط الموصى به للمنشآت المختلفة

الهبوط (سم)		المنشآت
أقصى	أدنى	
7.5	2.5	- حوائط الأساسات المسلحة والأساسات والقيسونات
7.5	2.5	- الكمرات والحوائط المسلحة
10	2.5	- الأعمدة
10	2.5	- بلاطات الرصيف والبلاطات المسلحة
5	2.5	- خرسانة كتلية

١- تحديد درجة التشغيلية:

قام الباحثان بوضع الجدول رقم (5-8) لى يتم تحديد درجة التشغيلية المطلوبة على أساسه.
جدول (5-8) خواص الخرسانة الطازجة للخرسانة عالية المقاومة

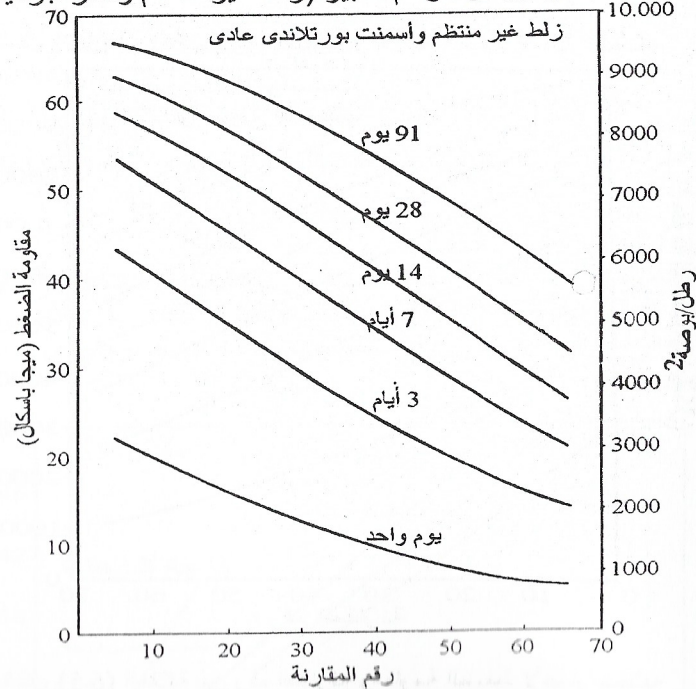
معامل الدمك	حالة المنشأ والدمك	هبوط سم	درجة التشغيلية
0.65	هزات خارجية أو ضغط خارجي	صفر	منخفضة إلى أقصى درجة
0.75	الهز والدمك الشديد	صفر - 3	منخفضة جداً
0.83	إطاعات الخرسانة المسلحة واستخدام دمك	0.60 - 0.30	منخفضة
0.90	إطاعات شديدة التسليح مع الدمك	2.5 - 0.60	متوسطة
0.95	إطاعات شديدة التسليح أو دمك يدوي	10 - 2.5	عالية

٢- تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت:

١- تحديد رقم المقارنة:

يتم تحديد المقاومة الدنيا للمنشأ، ومنها يحدد المقاومة المتوسطة.

قام الباحثان بدراسة معملية للعلاقة بين نسبة الماء إلى الأسمنت ومقاومة ضغط الخرسانة. ونظراً للمدى المحدود للدراسة، فقد تم الاستعانة بمقياس مكبر أطلق عليه رقم اعتباري أو رقم مقارنه (Reference Number). وبذلك تم رسم العلاقة بين مقاومة الضغط والرقم الاعتباري، بدلاً من مقاومة الضغط ونسبة الماء إلى الأسمنت. والأشكال (4-5 حتى 7-5) توضح تلك العلاقة التي تم رسمها لأسمنت بورتلاندى عادى وأسمنت سريع التصلد، وكذلك لنوعين من الركام الكبير (زلط غير منتظم وكسر جرانيت).



شكل (4-5) العلاقة بين رقم المقارنة ومقاومة الضغط لأعمار مختلفة

جدول (6-5) متطلبات التعرض لحالات خاصة.

حالة التعرض	W/C	المقاومة الدنيا (N/mm^2)
خرسانة ذات نفاذية قليلة عند تعرضها للماء	0.5	28
الخرسانة المعرضة للتآكل و الذوبان	0.45	31
للحمایو من صدأ صلب التسليح للخرسانة المتعرضة للمهاجمة بالكوريدات قبل ماء البحر أو الماء المالح	0.40	35

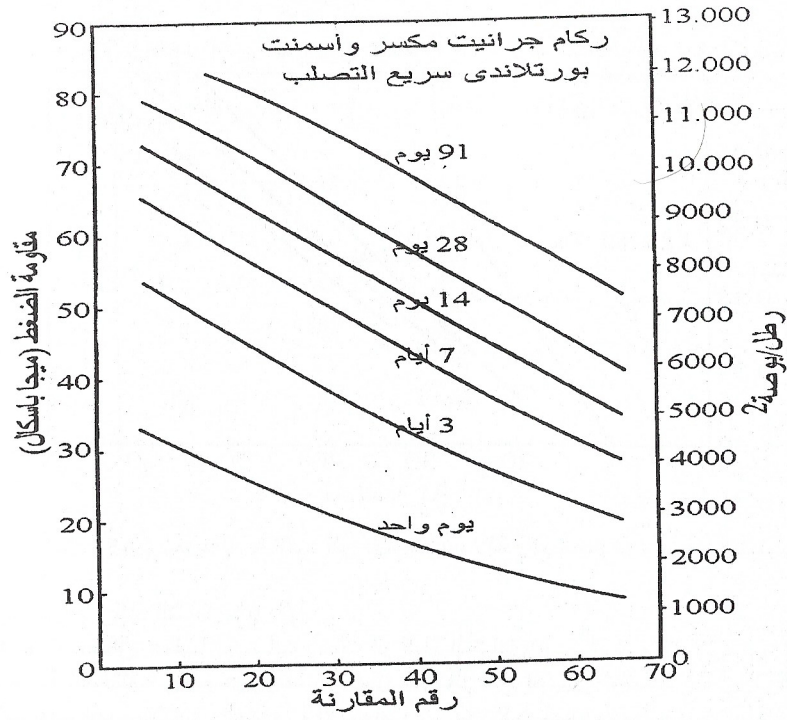
جدول (7-5) حجم الركام الكبير (m^3) لإنتاج $1m^3$ خرسانة من الخرسانة ذات القوام اللدن .

المقاس الاعتباري الأكبر مم	معايير النعومة	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.44	0.46	0.48	0.50	0.53
12.5	0.53	0.55	0.57	0.59	0.60
20	0.60	0.62	0.64	0.66	0.67
25	0.65	0.67	0.69	0.71	0.72
40	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78
50	0.72	0.74	0.76	0.78	0.80
75	0.76	0.78	0.80	0.82	0.83
150	0.81	0.83	0.85	0.87	

4-5 تصميم الخلطات ذات المقاومة العالية (Design of High Strength Concrete):

1-4-5 مقدمة:

أصبحت الخرسانة العالية المقاومة في العقدین الآخرين تستخدم بكثرة في الكبارى سابقة الإجهاد، وكذلك في المنشآت العالية والمنشآت البحرية. وتعتبر المقامات الأعلى من 400 كجم/سم² خرسانات ذات مقاومة عالية. ولقد تم حالياً إنتاج خرسانات ذات مقاومة أعلى من 1000 كجم/سم²؛ ويطلق عليها الخرسانة فائقة المقاومة (Ultra High Strength). والخرسانة ذات المقاومة العالية هي خرسانة تحتاج إلى معالجة خاصة مثل البخار، أو تحتاج لإضافات خاصة، وهي تحتاج لأسس وضعية لتصميم خلطاتها. ويمكن الوصول لتلك المقاومة بركام جيد وبنسب مرتفعة من الأسمنت، مع تشغيلية ليست عالية. وهناك اتجاه حديث لتخفيض نسبة الماء إلى الأسمنت عن طريق استخدام مواد عالية التلدين (Super Plasticizers)، مع استخدام إضافات خاصة مثل Silica Fume. وسنعرض فيما يلي إحدى الطرق التقليدية لتصميم تلك الخلطات. وقامت تلك الطريقة على اختبارات ودراسات عملية ووضعية قام بها كلاً من نتروى وشكلوك. وتعتمد أساساً على استخدام ركام شامل به 30% من الرمال. وبالتالي أصبح محتوى الركام مجهول واحد وليس مجهولين ويمكن استخدام منحنيات تدرج قياسية. وقام الباحثين بربط مقاومة الضغط بنسبة الماء إلى الأسمنت عن طريق استخدام رقم اعتباري معين، ثم يلي إعطاء جداول تعطى نسبة الركام الشامل إلى الأسمنت. ويمكن تفصيل ذلك فيما يلي:

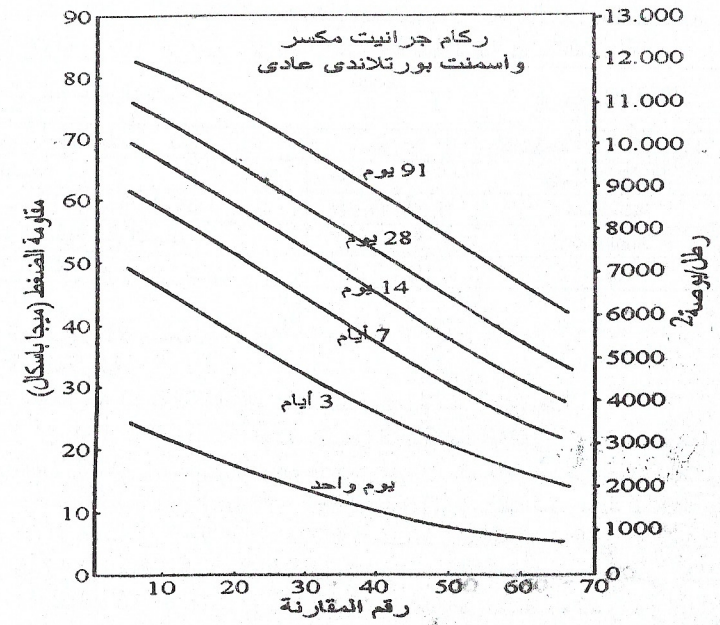
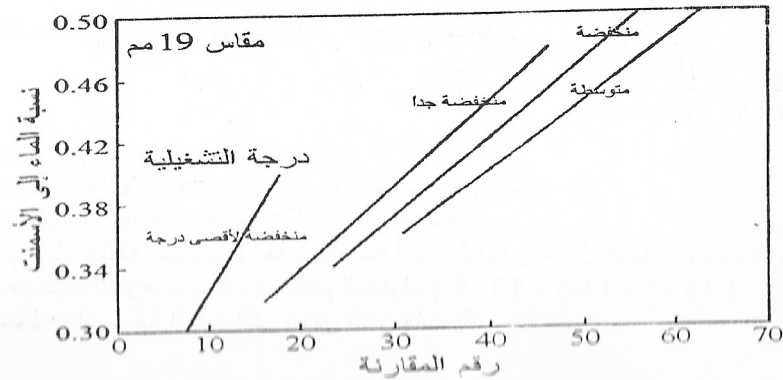


شكل (7-5) العلاقة بين رقم المقارنة ومقاومة الضغط لأعمار مختلفة

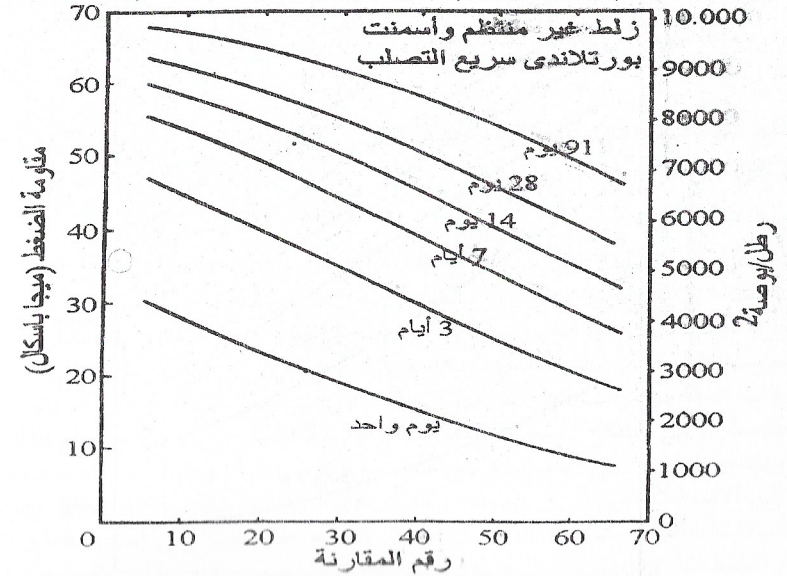
بناءً على ما سبق، يقوم المهندس بتحديد الرقم الاعتباري (رقم المقارنة) المناظر للمقاومة المطلوبة عند عمر معين.

ب- تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت:

يتم تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت عن طريق استخدام الشكلان (8-5، 9-5)، وفيهما علاقة بين الرقم الاعتباري (R.N) ونسبة الماء إلى الأسمنت لدرجات تشغيلية مختلفة بين تشغيلية منخفضة إلى أقصى درجة وتشغيلية متوسطة، وذلك لركام ذي مقاس اعتباري أكبر $4\frac{1}{2}$ ، $8\frac{3}{4}$ بوصة على الترتيب.



شكل (5-5) العلاقة بين رقم المقارنة ومقاومة الضغط لأعمار مختلفة



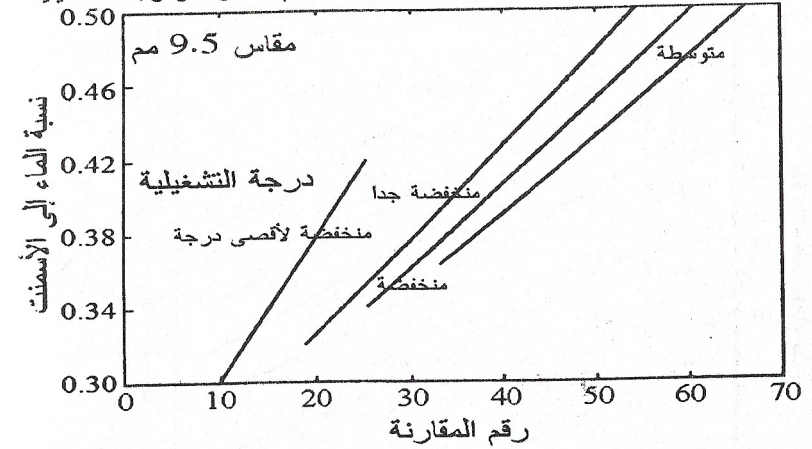
شكل (6-5) العلاقة بين رقم المقارنة ومقاومة الضغط لأعمار مختلفة

جدول (9-5) نسبة الركام الى الأسمنت لركام منتظم (زلط) مقاسة 38.1 مم

عالية	متوسطة	منخفضة	منخفضة جداً	الدرجة التشغيلية
4 3 2 1	4 3 2 1	4 3 2 1	4 3 2 1	
2.3 2.3 2.5 2.7	2.5 2.6 2.8 2.9	2.9 3.2 3.3 3.4	3.2 3.5 3.9 4.0	0.35
3.1 3.3 3.5 3.5	3.4 3.7 3.8 3.8	3.8 4.2 4.5 4.5	4.3 4.7 5.3 5.3	0.40
4.0 4.3 4.4 4.1	4.3 4.6 4.7 4.6	4.8 5.3 5.6 5.6	5.3 5.9 6.5 6.5	0.45
4.8 5.1 5.2 4.8	5.1 5.5 5.7 5.4	5.7 6.3 6.6 6.7	6.3 7.1 7.7 7.7	0.50
5.5 6.0 5.9 *	5.8 6.3 6.5 6.2	6.6 7.2 7.6 7.6	7.3 8.1 - -	0.55
6.2 6.7 * *	6.6 7.1 7.3 7.0	7.4 - - -	- - - -	0.60
6.9 7.3 * *	7.2 7.8 8.1 7.8	8.1 - - -	- - - -	0.65
7.4 - * *	7.9 - - -	- - - -	- - - -	0.70
8.0 - * *	- - - -	- - - -	- - - -	0.75
- - * *	- - - -	- - - -	- - - -	0.80

15 - 5 وحتى 13-5 مناطق التدرج المذكورة في الجداول من 5-13 وحتى 5-15 .

شكل (8-5) تحديد نسبة الماء الى الأسمنت بدلالة رقم المقارنة ودرجة التشغيلية



شكل (9-5) تحديد نسبة الماء الى الأسمنت بدلالة رقم المقارنة ودرجة التشغيلية

3- تحديد نسبة الركام الشامل (Ag):

قام الباحثان عملياً بحساب نسبة الركام الشامل إلى الأسمنت (Ag/C)، ولدرجات التشغيلية المختلفة والنوعين المستخدمين من الركام الكبير، ولمقاس من الركام 4، 3، 2، 1، وللأسمنت البورتلاندى العادى والأسمنت سريع التصلب. وتم تلخيص ذلك في الجداول ارقام (9-5، 10-5، 11-5، 12-5) وعن طريق تلك الجداول نحدد نسبة W/C .
4- حساب محتوى الأسمنت باستخدام نسبة الماء إلى الأسمنت ونسب الركام إلى الأسمنت وباقي المحتويات من معادلة الحجم المطلق التالية:

$$\frac{Ag}{G_s} + \frac{C}{3.15} + \frac{W}{1} = 1$$

حيث فرض أن الهواء المحبوس = صفر.

C وزن الأسمنت.

W وزن الماء.

G_s الوزن النوعي للركام الشامل.

بالقسمة على وزن الأسمنت C في المعادلة السابقة:

$$\frac{Ag}{C G_s} + \frac{1}{3.15} + \frac{W}{C} = \frac{1}{C}$$

ومنها يتم إيجاد وزن الأسمنت (C).

- بمعلومية Ag / C نوجد وزن الركام الشامل / م³ خرسانة.

- بمعلومية W/C نوجد وزن الماء / م³ خرسانة.

ويتم عمل خلطة تجريبية وتحديد مقاومة الضغط لها ومعامل الدمك ووحدة الوزن مع عمل التصحيحات اللازمة. ويمكن استخدام الجداول (5-13 ، 5-14 ، 5-15) للحصول على نسبة الخلط التي تحقق التدرجات القياسية.

جدول (11-5) نسبة الركام الى الاسمنت لركام مكسر مقاسة 38.1 مم

درجة التشغيلية	منخفضة جداً	منخفضة	متوسطة	عالية
رقم منطقة التدرج	4 3 2 1	4 3 2 1	4 3 2 1	4 3 2 1
0.35	3.0 3.5 3.7 3.7	2.7 3.0 3.0 3.0	2.4 2.7 2.6 2.6	2.2 2.5 2.5 2.4
0.40	4.0 4.7 4.7 4.8	3.5 3.8 3.9 3.9	3.2 3.5 3.4 3.3	2.9 3.2 3.2 3.1
0.45	5.0 5.7 5.8 6.0	4.3 4.6 4.8 4.8	3.9 4.2 4.1 4.0	3.5 3.9 3.9 *
0.50	5.9 6.5 6.8 7.2	5.0 5.4 5.5 5.5	4.5 4.8 4.8 4.6	4.1 4.4 4.4 *
0.55	6.7 7.3 7.8 8.3	5.7 6.0 6.2 6.2	5.1 5.4 5.4 *	4.7 4.9 4.8 *
0.60	7.4 8.0 8.6 9.4	6.2 6.7 6.9 6.8	5.6 6.0 6.0 *	5.2 5.4 * *
0.65	8.0 - - -	6.8 7.3 7.5 7.4	6.1 6.4 * *	5.6 5.8 * *
0.70	- - - -	7.4 7.7 8.0 8.0	6.6 6.7 * *	6.1 6.2 * *
0.75	- - - -	7.9 - - -	7.0 7.2 * *	6.5 6.6 * *
0.80	- - - -	- - - -	7.4 7.5 * *	7.0 * * *
0.85	- - - -	- - - -	7.8 7.8 * *	7.4 * * *
0.90	- - - -	- - - -	8.1 * * *	7.7 * * *
0.95	- - - -	- - - -	- * * *	8.0 * * *
1.00	- - - -	- - - -	- * * *	* * * *

جدول (10-5) نسبة الركام الى الاسمنت لركام منتظم (زلط) مقاسة 19.05 مم

درجة التشغيلية	منخفضة جداً	منخفضة	متوسطة	عالية
رقم منطقة التدرج	4 3 2 1	4 3 2 1	4 3 2 1	4 3 2 1
0.35	3.2 3.5 4.5 4.5	3.1 3.2 3.6 3.8	2.7 2.8 3.0 3.1	2.5 2.6 2.8 2.8
0.40	4.5 5.3 6.3 6.6	4.1 4.5 5.1 5.3	3.7 3.9 4.2 4.2	3.3 3.5 3.7 3.6
0.45	5.8 6.7 7.7 8.0	5.1 5.9 6.6 6.9	4.5 5.0 5.3 5.3	4.1 4.5 4.8 4.6
0.50	7.0 8.0 - -	6.0 7.0 8.0 8.2	5.4 5.9 6.3 6.3	4.8 5.3 5.7 5.5
0.55	8.1 - - -	6.9 8.2 - -	6.4 7.4 7.3 7.3	5.5 6.1 6.5 6.3
0.60	- - - -	7.7 - - -	7.2 8.0 - -	6.1 6.8 7.2 *
0.65	- - - -	8.5 - - -	7.8 - - -	6.6 7.4 7.7 *
0.70	- - - -	- - - -	- - - -	7.2 7.9 - *
0.75	- - - -	- - - -	- - - -	7.6 - - *
0.80	- - - -	- - - -	- - - -	- - - *
0.85	- - - -	- - - -	- - - -	- - - *
0.90	- - - -	- - - -	- - - -	- - - *

نسبة الماء الاسمنت

جدول (5 - 12) نسبة الركام الى الاسمنت لركام مكسر مقاسة 19.05 مم

5-5 تصميم الخلطة الخرسانية بالطريقة البريطانية:

تستخدم هذه الطريقة على مجال واسع في المملكة المتحدة. وتعتمد هذه الطريقة على مجموعة من البيانات والمنحنيات المستنتجة من مجموعة من الأبحاث والاختبارات خلال سنوات عديدة. ويمكن تلخيص هذه الطريقة في الخطوات التالية:

1. تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت (Water cement ratio):

بمعلومية المقاومة التصميمية للخلطة يتم تعيين نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C)، وذلك باستخدام جدول (16-5) وشكل (10-5) كما يلي.

جدول (16-5) قيم مقاومة الضغط بالنسبة W/C مرجعية = 0.50

مقاومة الضغط (نيوتن/مم ²) العمر باليوم				نوع الركام الكبير	نوع الأسمنت
91	28	7	3		
48	40	27	18	غير مكسر	أسمنت بورتلاندى عادى
55	47	33	23	مكسر	أسمنت بورتلاندى مقاوم للكبريتات
53	46	34	25	غير مكسر	أسمنت سريع التصلد
60	53	40	30	مكسر	

- مقاومة الضغط التقريبية لخلطات تستخدم بها نسبة ماء للأسمنت 0.50
- بمعلومية نوع الركام والأسمنت والزمن المطلوب تحقيق المقاومة عنده، يتم استخدام جدول (16-5)؛ حيث يتم استخدامه لإيجاد نقطة (عند نسبة ماء إلى أسمنت = 0.5) يوقعها على المنحنى شكل (10-5)، ويتم رسم منحنى متوسط للمنحنى الأعلى والأسفل لهذه النقطة. ويستخدم هذا المنحنى لاستنتاج نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C) التي تحقق المقاومة التصميمية للخلطة المطلوبة.
- بمعرفة الظروف والعوامل البيئية التي ستعرض لها الخرسانة (Durability)، يتم تحديد نسبة 2 (W/C) التي تحقق المقاومة للظروف والعوامل المختلفة، ومتطلبات التحمل (Durability) غير مذكورة هنا ويرجع للمواصفات البريطانية في هذا الشأن ونأخذ القيمة الأقل من 2 (W/C)، 1 (W/C) وتسمى (W/C).

درجة التشغيلية رقم منطقة التدرج	منخفضة جداً				منخفضة				متوسطة			
	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
0.35	2.7	2.9	3.0	3.2	2.4	2.5	2.7	2.7	2.2	2.3	2.4	2.4
0.40	3.5	3.7	4.2	4.5	3.0	3.2	3.5	3.5	2.7	2.9	3.1	3.1
0.45	4.3	4.6	5.0	5.5	3.7	3.9	4.2	4.3	3.3	3.4	3.7	3.7
0.50	5.0	5.4	5.8	6.5	4.3	4.5	4.9	5.0	3.8	3.9	4.2	4.2
0.55	5.6	6.0	6.6	7.2	4.8	5.0	5.4	5.7	4.3	4.5	4.7	4.7
0.60	6.3	6.6	7.2	7.8	5.3	5.6	6.0	6.3	4.8	4.9	5.2	*
0.65	6.9	7.2	7.8	8.3	5.8	6.1	6.5	6.9	5.2	5.4	5.7	*
0.70	7.5	7.7	8.3	8.7	6.3	6.5	7.0	7.4	5.7	5.8	6.2	*
0.75	8.0	8.2	-	-	6.8	7.0	7.5	7.9	6.1	6.2	*	*
0.80	-	-	-	-	7.2	7.4	-	-	6.5	6.6	*	*
0.85	-	-	-	-	7.6	7.8	-	-	6.9	7.1	*	*
0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	7.3	7.5	*	*
0.95	-	-	-	-	-	-	-	-	7.6	8.0	*	*
1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

نسبة الماء للأسمنت

جدول (5-13) حدود التدرج لركام شامل مقاسه 38.1 مم (هيئة الطرق الأمريكية مذكوره رقم 4) لأربعة مناطق تدرج

مقاس المنخل	1.5	4/3	8/3	4	8	16	30	50	100
1	100	50	35	23	19	12	8	2	1
2	100	60	43	33	25	17	12	7	1
3	100	68	52	40	32	24	17	10	1
4	100	75	60	46	37	30	25	15	1

جدول (5-14) حدود التدرج لركام شامل مقاسه 19 مم (هيئة الطرق الأمريكية - مذكوره رقم 4)

مقاس المنخل	4/3	8/3	4	8	16	30	50	100
1	100	35	29	21	15	8	1	1
2	100	55	33	28	20	14	2	1
3	100	64	41	35	28	21	5	1
4	100	75	48	41	34	28	11	1

جدول (5-15) حدود التدرج لركام شامل مقاسه 9.52 مم (هيئة الطرق الأمريكية - مذكوره رقم 4)

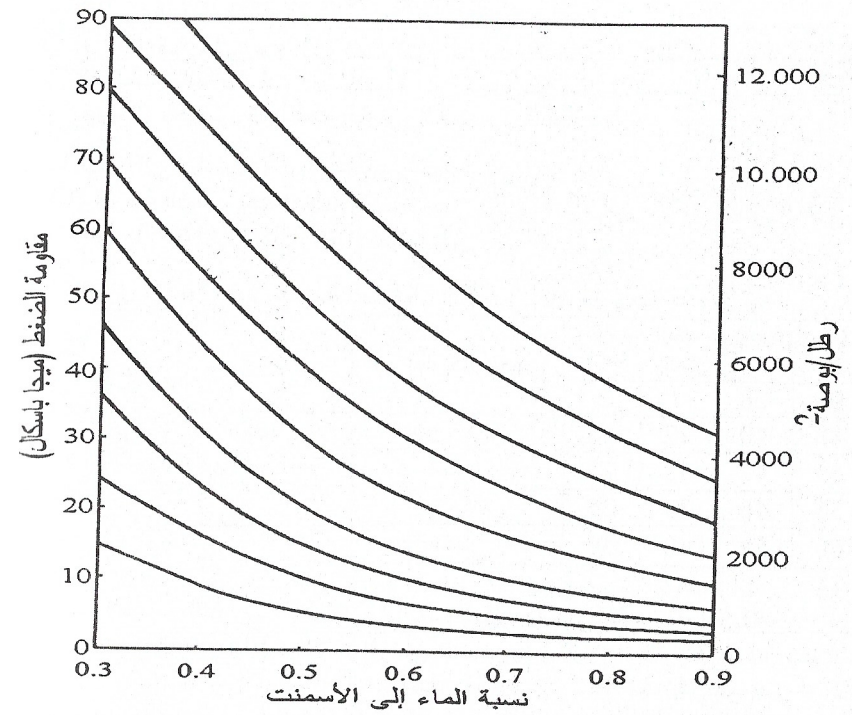
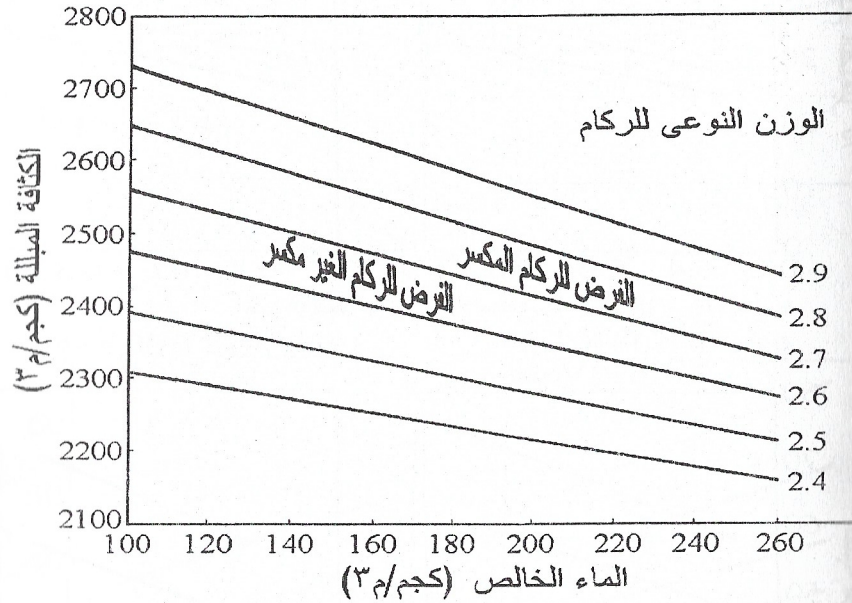
مقاس المنخل	8/3	4	8	16	30	50	100
1	100	30	20	17	13	5	1
2	100	45	33	27	19	8	1
3	100	60	46	37	28	14	1
4	100	75	60	46	34	20	1

1. تحديد محتوى الأسمنت بدلالة محتوى الماء ونسبة الماء إلى الأسمنت :

$$\text{Cement content} = \frac{\text{Free Water Content}}{(W/C)}$$

2. تحديد وزن المتر المكعب من الخرسانة (γ) :

بمعلومية الوزن النوعي للركام ومحتوى الماء وكذلك نوعية الركام المستخدم يتم تحديد وزن المتر المكعب من الخرسانة, وذلك باستخدام شكل (11-5).



شكل (10-5) العلاقة بين مقاومة الضغط ونسبة الماء الخالص إلى الأسمنت المستخدم في الطريقة البريطانية للتصميم

2- تحديد محتوى ماء الخلط :
بمعلومية درجة قابلية التشغيل المطلوبة ونوعية الركام والمقاس الاعتباري الأكبر, يتم تحديد كمية ماء الخلط الذي يحقق قابلية التشغيل المطلوبة, وذلك باستخدام جدول (17-5).

جدول (17-5) محتوى الماء المناسب لتشغيله مختلفه .

الهيوط مم زمن Vebe (بالثانية)	نوع الركام	صفر - 10 أكبر من 12	30 - 60 أكبر من 12	60 - 180 أكبر من 3
المقاس الاعتباري الأكبر للركام مم	غير مكسر	150	180	225
10	مكسر	180	205	250
20	غير مكسر	135	160	195
	مكسر	170	190	225
40	غير مكسر	115	140	175
	مكسر	155	175	205

شكل (11-5) تحديد كثافة الخرسانة كدالة من محتوى الماء والوزن النوعي للركام

3. تحديد المحتوى الكلي للركام:

من المعلومات السابقة (وزن الماء والأسمنت ووزن المتر المكعب من الخرسانة) يمكن حساب محتوى الركام (A).

$$A = \gamma - C - W$$

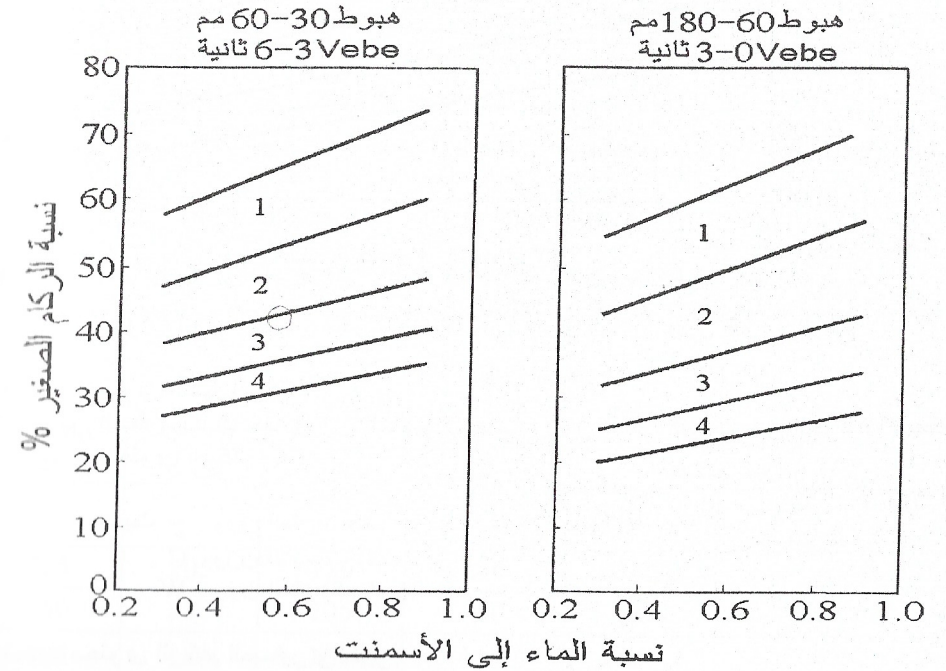
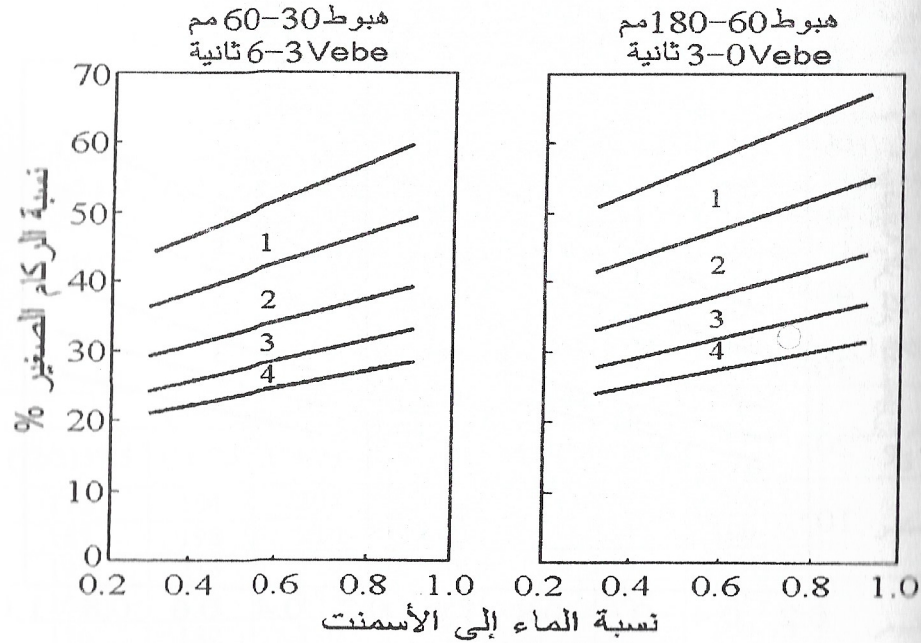
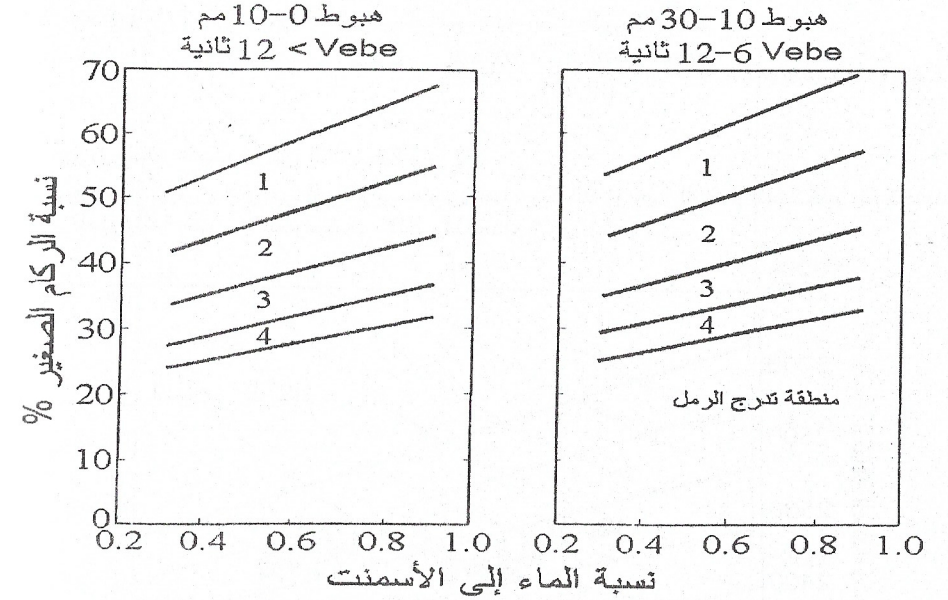
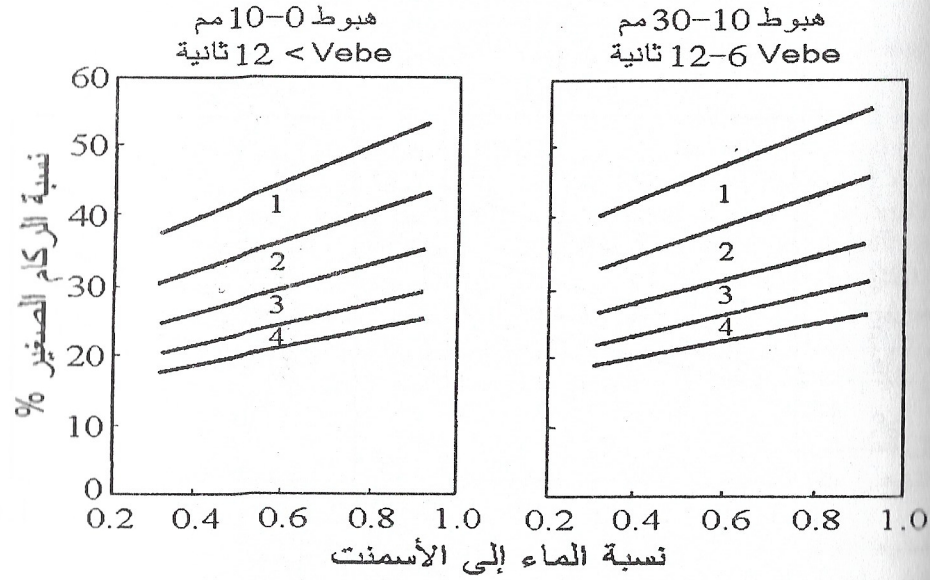
حيث γ وزن المتر المكعب من الخرسانة (كجم/م³).

C وزن الأسمنت (كجم/م³).

W وزن الماء (كجم/م³).

4. تحديد محتوى الركام الصغير والكبير:

بمعلومية كل من المقاس الاعتباري الأكبر والتشغيلية ونسبة الماء إلى الأسمنت (W/C) ومنطقة تدرج الرمل طبقاً للمواصفات البريطانية (من 1 وحتى 4) , ومنطقة تدرج الرمل طبقاً للمواصفات البريطانية (1 إلى 4) يمكن حساب نسبة الركام الصغير, وذلك باستخدام شكل (12-5).



(ب) مقاس ركام-20 مم

(أ) مقاس ركام-10 مم

شكل (5-12) مستمر (تحديد نسبة الركام الصغير بالنسبة للركام الشامل كدالة من نسبة الماء الى الأسمنت والتشغيلية

شكل (5-12) تحديد نسبة الركام الصغير بالنسبة للركام الشامل كدالة من نسبة الماء الى الأسمنت والتشغيلية

6-6 اتجاه طريقة تصميم خلطة مصرفية (موضوعة بالمؤلف) .

6-6-1 مقدمة :

يحتوى كود الخرسانة المصرى على بعض اشتراطات لخواص مواد الخرسانة وكذلك على حدود التحمل durability لكل من مهاجمة الخرسانة للكبريتات وللظروف المحيطة بها لا توجد طريقه مصرفيه لتصميم الخلطة. والكاتب هنا بناء على بعض التجارب التى قام بها وبناء على النتائج المأخوذه من عدة مراجع وطريقة ACI والطريقة البريطانية يقترح طريقة لتصميم الخلطة الخرسانية ربما يعتمدها كود الخرسانة المصرى وهذه الطريقة تتميز عن الطرق الأخرى بأنها تغطى مقاومة ضغط للمكعب حتى مقاومة 730 كجم/سم² وتفرق بين الركام المكسر والركام الطبيعى فى مقاومة الضغط وتأخذ تأثير الإضافات فى الاعتبار كما ان مقاومة الركام تلعب دوراً هاماً فى الطريقه المقدمه .

6-6-2 خطوات التصميم :

يمكن تلخيص هذه الطريقه فى الخطوات التالية :

1. الخطوات الأولى :

1- اختيار واختبار المواد الملائمة للمشروع والتي تحقق اشتراطات الكود المصرى ويحدد معيار نعومة الرمل والمقاس الاعتبارى الأكبر للركام الكبير والوزن النوعى لكل من الرمل والركام الكبير على أساس أن الحبيبات مشبعة من الداخل جافة السطح .

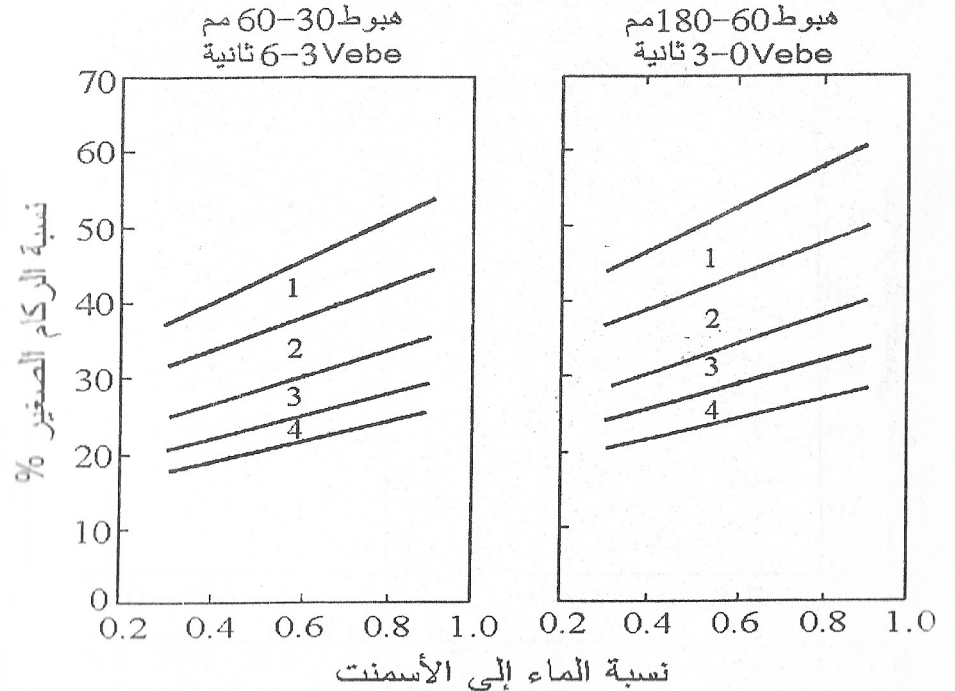
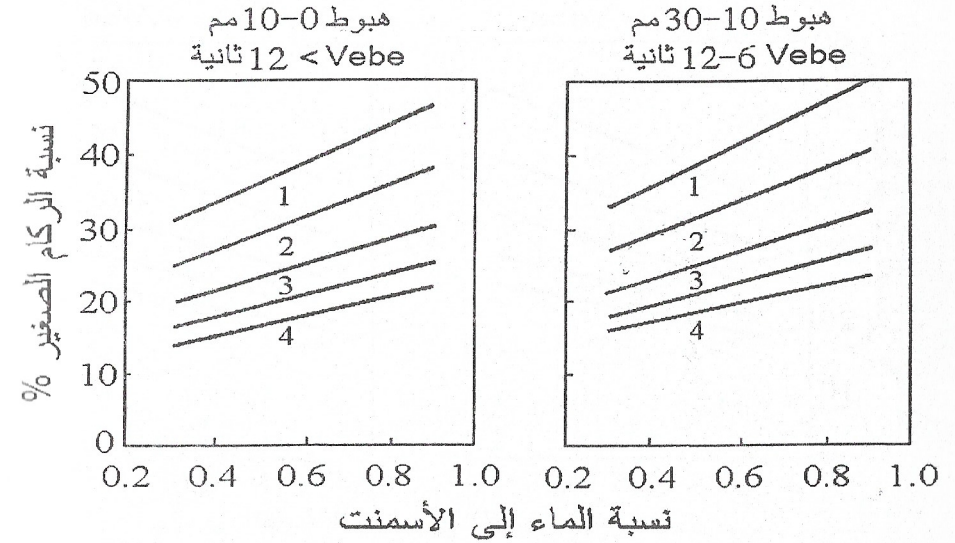
2. تحديد محتوى الماء :

2-1 جدول (5-18) يتم تحديد محتوى الماء (wo) الذى يحقق هبوط معلوم للخرسانة المازجه كدالة من المقاس الاعتبارى الأكبر للركام وهل الركام طبيعى (زلط) أم ناتج من كسرات (مثل كسر الأحجار) وتم تحديد هذه القيم من العديد من الدراسات السابقة بالخامات الجاهزة ورسائل الماجستير والدكتوراه المجراه فى مصر بالإضافة الى تجارب قام بها المؤلف .

2-2 جدول (5-18) محتوى الماء (W_o*) كجم/م³ و محتوى الهواء % .

نوع الركام الكبير	قيمة الهبوط (مم)	المقاس الاعتبارى الأكبر مم (بوصة)				
		9.5 (3/8")	12.5 (1/2")	19 (4/3")	25 (1")	37.5 (3/2")
ركام مكسر	50-25	217	210	204	184	175
	100-75	234	222	210	198	187
	175-150	250	235	224	213	195
ركام طبيعى	50-25	198	185	185	174	164
	100-75	215	203	190	182	170
	175-150	230	217	203	195	177
محتوى الهواء	-	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0

1- يحتوى الماء يجب أن يزيد بضره فى معامل 1.05 إذا استخدم غبار السليكا بنسبة 8-15% من وزن الأسمنت .



(ج) مقاس ركام -40 مم

كل (5-12 مستمر) تحديد نسبة الركام الصغير بالنسبة للركام الشامل كدالة من نسبة الماء الى الأسمنت والتشغيليه

جدول رقم (5-20) متطلبات الخرسانة المعرضة للمهاجمة الكبريتية لتحقيق كثافة عالية ودمك كامل للخرسانة (مأخوذ من الكود المصري للخرسانة حتى 2013 م) . *

الحد الأدنى للمقاومة المميزة للخرسانة f_{cm}	الحد الأقصى لنسبة الماء إلى الأسمنت	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت كجم/م ³			نوع الأسمنت	تركيز الكبريتات في صورة ثالث أكسيد الكبريت		
		المقاس الاعتيادي الأكبر للركام مم*				في التربة		في الماء الأرضي
						SO ₃ %	مزيغ من الماء والتربة بنسبة 1:2 جم/لتر	
-	0.52	400	400	350	بورتلاندى CEMI	أقل من 300	أقل من 1	0.2
25	0.50	400	400	350	بورتلاندى CEMI أو متوسط الحرارة	300 إلى 700	1.00 إلى 1.50	-0.2 إلى 0.35
30	0.45	400	400	350	مقاوم للكبريتات أو متوسط الحرارة	700 إلى 1200	1.50 إلى 1.90	-0.35 إلى 0.50
35	0.43	450	450	400	مقاوم للكبريتات	1200 إلى 2500	1.9 إلى 3.1	-0.50 إلى 1
40	0.40	450	450	400	مقاوم للكبريتات مع تغطيات واقية مناسبة	2500 إلى 5000	3.1 إلى 5.6	-1.00 إلى 2.00

في حالة ما يكون المقاس الإعتباري الأكبر بين قيمتين مذكورتين في الجدول تؤخذ النتائج المناظرة للمقاس الإعتباري الأقل .

ويجب اعتبار الظروف المحيطة الأخرى ويمثلها جدول (5-21) الموصى به بالكود المصري ونستخرج منه نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C1) ومقاومة الضغط الدنيا ، محتوى الأسمنت الأدنى Cmin وفي حالة مهاجمة الخرسانة بماء البحر أو مهاجمة الكبريتات والكلوريدات يستخدم أسمنت عالي الخبث أو أسمنت بورتلاندى عادى أو أسمنت بورتلاندى معدل (Type II ASTM) بشرط أن تكون محتوى C3A كما يلي :

$$5 \leq C3A \leq 8 \%$$

وفي الحالات الأخرى التي لاتهاجم بالأملاح يستخدم الأسمنت البورتلاندى العادى .

3 - تأثير الإضافات :
في حالة وجود اضافات في الخلطة الخرسانية سواء أكانت مواد ملدنة أو مواد عالية التلدين من جدول (5-19) يتم حساب معامل التلدين (ρ_F) للإضافة وهو عبارة عن محتوى الماء المكافئ لفعل 1 لتر من الإضافة في التأثير على الهبوط (فكرة هذا المعامل مقترح بواسطة المؤلف وأ.د/ حافظ اليمنى وأ.د/ ابراهيم الدرويش وأ.د/ مصطفى شحاتة) وقيم هذا المعامل الموضحه بالجدول مأخوذه من العديد من الدراسات المختلفة التي قام بها المؤلف وعديد من الباحثين المصريين في الجامعات المختلفة . يتم حساب التخفيض في محتوى الماء ΔW نتيجة استخدام الاضافات بجرعه وزنها D .

$$\Delta W = \rho_F \cdot D^*$$

إذا محتوى الماء المستخدم (W)

$$W = w_o - \rho_F \cdot D^*$$

حيث D* محتوى الإضافة باللتر .

جدول (5-19) قيم معامل التلدين (ρ_F)

جرعة الملدنات أو الملدنات العالية من وزن الأسمنت % (D)	≤ 0.7	0.8 إلى 1.5	1.7 إلى 2.9
معامل التلدين	8.7	8.0	6.8

4 - اعتبار شروط التحمل Durability

يقوم المهندس بتحديد حالة المهاجمات الكيميائية أو الظروف المحيطة بالمنشأ والتي تنقسم الى مهاجمة الكبريتات في حالة تعرض الخرسانة لمهاجمة الكبريتات وفي تلك الحالة يستخدم الجدول رقم (5-20) ، الذي يوصى به الكود المصري للخرسانة وبناء على محتوى الكبريتات (معبراً عنه بـ SO₃) والمقاس الاعتيادي الأكبر نحدد أقصى نسبة ماء إلى أسمنت (W/C1) ومحتوى الأسمنت الأدنى Cmin ونوع الأسمنت والمقاومة المميزه الدنيا (fcu min) .

جدول رقم (5-21) قيم الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت و الحد الأدنى للمقاومة المميزة و الحد الأقصى لنسبة الماء إلى الأسمنت فى الخلطات الخرسانية لتأمين تحمل العناصر الإنشائية المعرضة لظروف ضارة مع الزمن (مأخوذ من الكود المصرى حتى 2013 م)

الظروف التى يتعرض لها المبنى بعد الإنشاء	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت كجم/م ³			الحد الأقصى لنسبة الماء : الأسمنت *	الحد الأدنى للمقاومة المميزة للخرسانة ن/مم ²
	المقاس الاعتبارى الأكبر للركام مم***				
	10	20	32		
الخرسانة محمية تماماً من الظروف الجوية والظروف المحيطة الضارة	350	350	350	0.60	25
الخرسانة غير معرضة أو معرضة للظروف المحيطة الضارة، ولكنها مدفونة دائماً تحت الماء أو معرضة للرطوبة	350	350	400	0.50	30
الخرسانة معرضة لظروف محيطية ضارة أو لماء البحر أو لدورات من البلل أو الجفاف أو الغازات الخ ****	350	400	450	0.40	40

* إذا كان المقاس الإعتبارى الأكبر يقع بين قيمتين مذكورتين فى الجدول يؤخذ محتوى الاسمنت المناظر للمقاس الإعتبارى الأقل.

5 - اعتبار مقاومة الضغط :

يتم تحديد مقاومة الضغط المميزه للمكعب القياسى (f_{cu}) بحيث تكون الأكبر من مقاومة التصميم المطلوبة للمبنى أو المقاومة الدنيا التى أشرنا إليها المحددة من ظروف التحميل من الخطوة السابقة . يتم تحديد هامش أمان تصميم الخلطة ثم نحدد مقاومة تصميم الخلطة بإضافة المقاومة المميزه لهامش الأمان .
- يتم تحديد مقاومة ضغط تصميم الخلطة f_{dm}

$$f_{dm} = f_{cu} + M$$

ويحسب هامش الأمان M من المعلومات السابقة إن وجدت كما سيذكر فى بند ضبط الجودة رقم (5-7) .

- يستخدم جدول (5-22) فى حالة مقاومة ضغط حتى 40 ن/مم² لكلاً من الركام المكسر والغير مكسر والجدول (5-23) فى حالة خرسانه ذات مقاومة عالية لتحديد نسبة الماء إلى الأسمنت التى تناظر مقاومة تصميم الخلطة . ويتم تحديد نسبة الماء للأسمنت التى تحقق f_{dm} ولتكن (W/C)2 .

جدول (5-22) مقاومة الضغط ($20 \leq f_{cu} \leq 40$ N/mm²) و نسبة المياه للأسمنت الركام غير مكسر

f_{cu} (N/mm ²)	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40
نسبة w/c	0.71	0.66	0.61	0.57	0.53	0.49	0.45	0.42	0.39

ركام مكسر

f_{cu} (N/mm ²)	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40
نسبة w/c	0.78	0.70	0.65	0.62	0.58	0.54	0.52	0.49	0.47

جدول (5-23) مقاومة الضغط - نسبة المياه للأسمنت (الخرسانة عالية المقاومة) الركام غير مكسر (زلط) ($40 < f_{cu} \leq 50$ N/mm²)

f_{cu} (N/mm ²)	41	42	43	44	45
نسبة w/c	0.382	0.371	0.360	0.349	0.339
f_{cu} (N/mm ²)	46	47	48	49	50
نسبة w/c	0.330	0.320	0.310	0.301	0.292

ركام مكسر ($40 < f_{cu} \leq 73$ N/mm²)

f_{cu} (N/mm ²)	42.5	45	47.5	50	52.5	55
نسبة w/c	0.450	0.436	0.420	0.400	0.380	0.363
f_{cu} (N/mm ²)	57.5	60	62.5	65	67.5	73
نسبة w/c	0.350	0.342	0.326	0.310	0.296	0.270

أ - يستخدم نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C) الأقل من (W/C)1 و (W/C)2 .
ب - معلومية نسبة الماء إلى الأسمنت ومحتوى الماء يتم حساب محتوى الأسمنت والذى يجب أن يزيد عن محتوى الأسمنت الأدنى c_{min} .

ج - تحديد نوع وخواص الركام الكبير .
د - الدراسات السابقة اتضح أنه فى حالة استخدام زلط طبيعى من الصعب الحصول على مقاومة ضغط أكبر من 50 ن/مم² نظراً لضعف مقاومة الترابط بين الزلط والمونة الأسمنتية ويفضل ان يكون خواص الركام مناسبه للمقاومة المطلوبة كما هو موضح بجدول (5-24) .
هـ - فى حالة استخدام كسر الأحجار يمكن الحصول على مقاومة ضغط عالية حتى (73 ن/مم²) نظراً لتحسن مقاومة الترابط ويفضل توريد كسر أحجار صلابتها تحقق الصلادة الموضحة فى جدول (5-24) . وفى حالة مقاومة الضغط الأكبر من 73 ن/مم² توجد الخواصات أخرى لا تدخل فى نطاق هذه الطريقة .

جدول (5-24) نوع الركام الكبير و خواصه طبقاً لقيمة المقاومة

1- ركام غير مكسر (زلط)

مستوى مقاومة الضغط		40 ≥ f _{cu} ≥ 20		50 ≥ f _{cu} ≥ 40	
مقاومة ضغط المكعب		40 = f _{cu}	20 = f _{cu}	50 = f _{cu}	40 = f _{cu}
زلط	يستخدم أم لا	يستخدم	يستخدم	يغسل عند استخدامه	
	معامل التهشيم	25 ≥	20 ≥	20 ≥	13 ≥

2- ركام مكسر

مستوى مقاومة الضغط		40 ≥ f _{cu} ≥ 20		* 73 ≥ f _{cu} ≥ 40	
مقاومة ضغط المكعب		40 = f _{cu}	20 = f _{cu}	73 = f _{cu}	40 = f _{cu}
كسر أحجار	يستخدم أم لا	يستخدم	يستخدم	يستخدم	
	معامل التهشيم %	25 ≥	20 ≥	20 ≥	11 ≥
لوس أنجلس %		30 ≥	25 ≥	25 ≥	14 ≥

* للخرسانة ذات مقاومة ضغط أعلى من 60 ن/مم² لا يزيد المقاس الإعتباري الأكبر عن 4/3 بوصة .

9 - تحديد نسبة الرمل الى الركام .

جدول رقم (5-25) يحدد نسبة الرمل الى الركام الشامل (S/A) كداله من معايير نعومة الرمل ومستوى هبوط الخرسانة الطازجه (هبوط أقل من 100 مم أو هبوط أكبر من 150 مم) والمقاس الإعتباري الأكبر للركام .

جدول (5-25) نسبة الرمل للركام الشامل (S/A)

* الهبوط		100 ≥ مم			150 ≤ مم		
نسبة w/c		0.4 ≥	0.45 ≥ w/c	0.65 <	0.4 ≥	0.45 ≥ w/c	0.65 <
معايير النعومة	2.8 ≤	10	0.39	0.45	0.46	0.45	0.41
		20	0.37	0.40	0.44	0.42	0.39
		40	0.36	0.37	0.43	0.39	0.36
		10	0.38	0.40	0.43	0.40	0.40
معايير النعومة	2.6 ≤	20	0.37	0.39	0.43	0.38	0.39
		40	0.33	0.37	0.43	0.38	0.36
		10	0.37	0.39	0.43	0.38	0.36
		20	0.33	0.35	0.42	0.38	0.36
معايير النعومة	2.3 ≤	40	0.33	0.34	0.42	0.37	0.36

* أى هبوط قيمته أقل من 120 مم يمكن إعتباره يساوى 100 مم و كل ما هو أعلى من 120 مم يمكن إعتباره يساوى 150 مم

10 - التطبيق فى معادلة الحجم المطلق وحساب محتوى الركام (A) .

$$\frac{C}{1.15} + \frac{W}{1} + \frac{D}{G_{admixture}} + \frac{(S/A)A}{G_{ss}} + \frac{A(1-S/A)}{G_{sg}} = 1 - Air$$

- من هذه المعادلة نحسب قيم محتوى الركام (A) .

- نحدد محتوى الرمل بضرب نسبة S/A × محتوى الركام .

- نحدد الكثافة النظرية γ_{th}

$$\gamma_{th} = C + W + A + D$$

- يتم تنفيذ خلطة خرسانية للتحقق من مقاومة الخلطة الخرسانية f_m وهبوط الخرسانة والكثافة العملية .

7-5 ضبط جودة الخرسانة Quality Control of Concrete

1-7-5 مقدمة :

الخرسانة ماده غير متجانسه تقريباً حيث تتكون من عدة مواد هي الأسمنت والرمل والركام الكبير والماء والإضافات ومما هو جدير بالذكر أن أى تغيير فى خواص تلك المكونات أو محتواها فى الخلطة الخرسانية أو فى كيفية صناعتها سيؤدى ذلك الى اختلاف فى خواص الخرسانة .

وجداول رقم (5-26) يوضح نتائج مقاومة الضغط فى أحد المواقع ويتضح منه تغير مقاومة الخرسانة وستتناول فى هذا الجزء أسباب إختلاف مقاومة ضغط الخرسانة خلال فترة تنفيذ المنشأ وكيفية الحكم على جودة الخرسانة . وسوف يتم ان شاء الله ذكر هذا الموضوع الهام بالتفصيل فى كتاب ضبط الجودة الذى سيتم نشره ان شاء الله قريباً .

جدول رقم (5-26) مقاومة الضغط (ن/مم²) لمجموعة من المكعبات القياسية لأحد المواقع

21	19	22	25	20	18	19	20	22	20
22	17	20	24	18	19	20	15	24	21
26	20	23	20	17	20	22	15	24	20
18	16	23	20	22	20	22	18	21	22
23	19	18	22	18	17	22	16	27	23
16	18	19	25	19	19	20	17	17	20
18	17	22	17	21	24	19	19	20	20
28	22	19	21	20	24	20	20	18	21
18	17	23	18	20	24	18	20	18	22
19	18	20	16	18	23	25	17	23	20

2-7-5 أسباب تغير مقاومة ضغط الخرسانة فى المشروع الواحد :

بأشأ التغير فى الخرسانة من عدة عوامل نوجزها فى مايلى :

1 - تغير خواص الركام حيث أن الركام يتم توريده من محجر واحد ولكن يلاحظ حدوث تغير ولو طفيف فى خواص الركام ويؤدى ذلك الى اختلاف خواص الخرسانة ويزيد هذا الإختلاف لو تم التوريد من عدة محاجر وإذا أردنا التحكم فى خواص الركام الكبير مثلاً فيمكن توريده على هيئة عدة مقاسات (إثنين أو ثلاثة) الى الموقع بحيث يتم خلطهم بنسب وزنية معينة فيقل الإختلاف .

2- تغير خواص الأسمنت :

حيث تتغير خواص الأسمنت بزيادة فترة التخزين ولذلك يجب إعادة إختباره اذا زادت فترة التخزين عن شهر وكذلك إختلاف وزن كيس الأسمنت عن 50 كجم .

3- إختلاف نسبة الماء الى الأسمنت :

حيث تتغير رطوبة الركام من وقت لآخر وخاصة بهطول الأمطار أو حدوث تسرب للمياه في الموقع. بتغير محتوى الماء تتغير نسبة الماء الى الأسمنت ويمكن التحكم في ذلك عن طريق تحديد محتوى الماء في الركام وعمل التصحيحات اللازمة .

4- تغيير مجموعة المهندسين والعاملين :
إذا حدث تغيير في المهندسين المنفذين أو العمالة الفنية يحدث اختلاف في صناعة الخرسانة

5- التغيير الحادث في صناعة الخرسانة من حيث التحكم في التشغيلية والدمك

6- استخدام قوالب غير قياسية .

7- استخدام ماكينات غير معاييره .

8- اجراء الإختبار بطريقة غير قياسية .

3-7-5 الحكم على جودة الخرسانة من جهة مقاومة ضغطها .

- يقوم المهندس بإختبار عينات قياسية على مدار عمر المشروع . ثم يقوم بتجميع هذه المعلومات وعن طريق استخدام الأساليب الإحصائية يتم الحكم على جودة الخرسانة باستخدام عدة طرق منها .

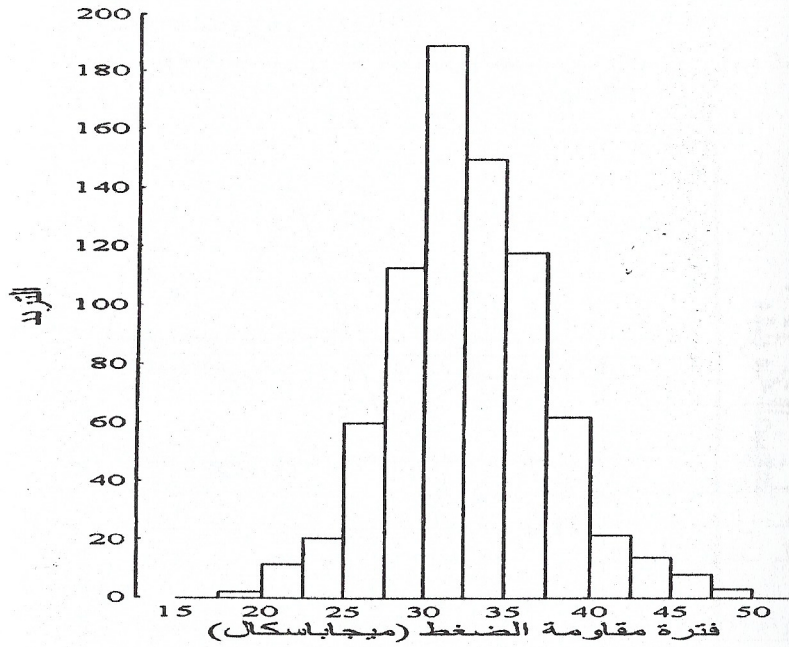
أ - المدرج التكرارى لمقاومة الخرسانة . Histogram

- يتم تجميع مقومات ضغط الخرسانة وتقسيمها الى خلايا تبدأ من أدنى مقاومة ضغط وحتى أعلى مقاومة ضغط وكل خلية تمثل مدى من مقاومة الضغط (بفروق في المقاومة قدرها 5 أو 10 أو 15 أو 20 كجم/سم²)

- حصر عدد العينات التى تكون مقاومتها داخل كل خلية ولتكن (Ni) .

- يتم تحديد احتمال حدوث مقاومة ضغط تلك الخلية بقسمة العدد Ni على عدد العينات الكلى .

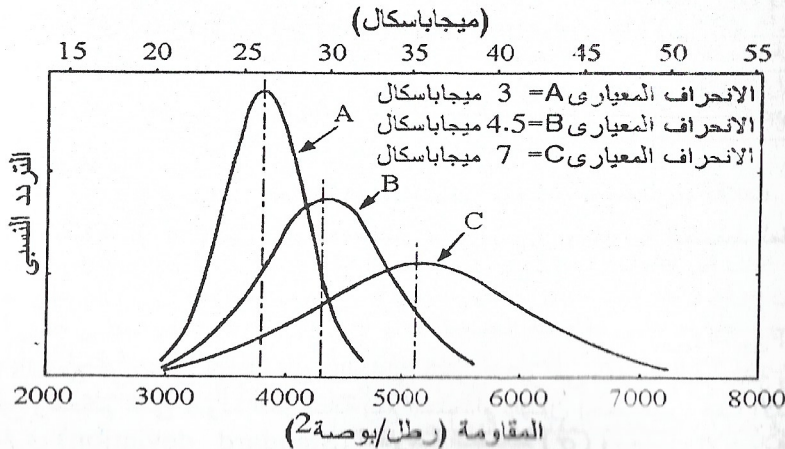
- يتم رسم منحنى المدرج التكرارى للمقومات (Histogram) كما بشكل (13-5) .



شكل (13-5) منحنى المدرج التكرارى

ب - المضلع التكرارى .

إذا تناقص مدى الخلية الواحده لأقل قيمة ممكنه يمكن رسم المضلع التكرارى كما هو مبين بشكل (14-5) والذي يوضح العلاقة بين مقاومة الضغط واحتمالها (تكرار الحدوث للمقاومة بالنسبة لمجموع العينات).



شكل (14-5) المضلع التكرارى للمقاومة

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cui} - f_{cuav})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}}$$

$$V = \left(\frac{\sigma}{f_{cuav}} \right) \times 100$$

جدول رقم (27-5) يحتوى على مستويات ضبط الجودة التى يستخدمها معهد الخرسانة الأمريكى (ACI 214 - 2006) للحكم على جودة مقاومة الخرسانة فى الموقع أو فى الخلطات المعملية .

جدول رقم (28-5) يحتوى على مستويات ضبط الجودة لخرسانة المنشآت التى يستخدمها الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية كدالة من قيم معامل الاختلاف وهناك اتجاه حديث فى ACI للحكم على الجودة للخرسانات عالية المقاومة لإستخدام معامل الاختلاف .

جدول رقم (27-5) استخدام قيم الانحراف المعيارى للحكم على جودة الخرسانة .

الانحراف المعيارى δ Kg/cm ²	الانحراف المعيارى				نوع الخلطات
	مقبول	جيد	جيد جداً	ممتاز	
ضعيف					خلطات المنشآت الخرسانية
أكبر من 49.2	49.2-42.2	-35.2 42.2	-28.1 35.2	28.1	خلطات المنشآت الخرسانية
أكبر من 24.6	24.6-21.1	21.1-17.6	17.6-14.1	14.1	خلطات معملية

جدول رقم (28-5) استخدام قيم معامل الاختلاف للحكم على جودة الخرسانة .

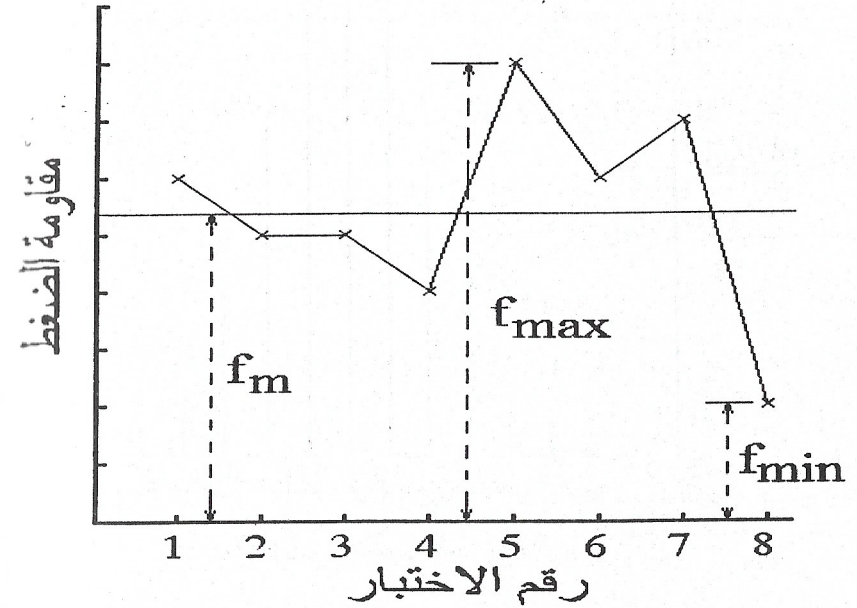
درجة التحكم	ممتاز	جيد	مقبوله	ردنية
معامل الاختلاف % V	أقل من 10	15 - 10	20 - 15	أكبر من 20

4-7-8 العلاقة بين مقاومة تصميم الخلطة (f_m) والمقاومة المميزة (f_{cu}) .

كما هو مبين فى جدول (26-5) وشكل (15-5) يتضح مدى اختلاف المقاومات للعينات المأخوذة من موقع واحد فهل سيتم تصميم المبنى على أقصى مقاومة (f_{max}) أم على مقاومة الضغط المتوسطة أم على مقاومة الضغط الدنيا (f_{min}) . إن تصميم المبنى على أعلى مقاومة يعنى أن جميع مقاومات المبنى المنفذة ستكون أقل من تلك المقاومة كما أن تصميم المبنى على المقاومة المتوسطة فيعنى ذلك أن 50% من مقاومة المبنى محتمل أن تقل عن تلك المقاومة كما أن استخدام المقاومة الدنيا غير إقتصادى .

جميع الكودات العالمية تعتبر أن مقاومة الضغط المتوسطة = f_m هى مقاومة تصميم الخلطة وتكون مقاومة تصميم المبنى هى مقاومة الضغط المميزة (f_{cu}) .

ج - العلاقة بين مقاومة الضغط وأرقام الاختبارات .
يتم رسم العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الاختبار (اختبار رقم 1 ، 2 ، n) كما هو موضح بشكل (15-5) .



شكل (15-5) العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الاختبار

د - الحكم على جودة الخرسانة حسابياً .
يلاحظ من شكل (15-5) أن مقاومة الضغط الدنيا لمشروع ما هى ($f_{cu \min}$) ومقاومة الضغط القصوى هى ($f_{cu \max}$) ويتم حساب مقاومة الضغط المتوسطة ($f_{cu \text{av}}$) .

$$f_{cuav} = \frac{f_{cu1} + f_{cu2} + f_{cu3} + \dots + f_{cun}}{n} = f_m$$

حيث n عدد الاختبارات .

يتم حساب الاختلاف (Δ) بين مقاومة اختبار معين (f_{cun}) ومقاومة الضغط المتوسطة f_{cuav}

$$\Delta_n = f_{cun} - f_{cuav}$$

وكما كانت Δ قريبة من الصفر دل ذلك على نقص التغير فى مقاومة الخرسانة والعكس صحيح وللحكم على جودة الخرسانة يتم استخدام دليلين احصائيين هما الانحراف المعيارى (Standard deviation) لمقاومة الضغط (σ) ومعامل الاختلاف (V) حيث :

جدول (5-29) هامش أمان تصميم خلطات الخرسانة طبقاً للكود المصرى

البيانات الإحصائية المتوفرة عن نتائج اختبار المقاومة		هامش أمان تصميم خلطة الخرسانة M عندما تكون المقاومة المميزة f_{cu}
$F_{cu} \leq 200$ كجم/سم ²	$F_{cu} > 200$ كجم/سم ²	
1- توافر 40 نتيجة اختبار أو أكثر بمواد وظروف مماثلة	1- توافر 40 نتيجة اختبار (1.64) الانحراف المعياري ولا يقل عن 65 كجم/سم ²	(1.64) الانحراف المعياري ولا يقل عن 0.33 المقاومة المميزة
2- عدم توافر بيانات أقل من 40 خلطة خلال فترة لا تزيد عن 6 شهور بمواد وظروف مماثلة	2- عدم توافر بيانات أقل من 40 خلطة خلال فترة لا تزيد عن 6 شهور بمواد وظروف مماثلة	ولا يقل عن 0.66 المقاومة المميزة

* الاختبار يمثل عينة من ثلاث مكعبات أو اسطوانات.

5-7-4-2 المقاومة المميزة فى طريقة معهد الخرسانة الأمريكى .
يستخدم معهد الخرسانة الأمريكى عينات اسطوانية (15×30سم) لتحديد مقاومة الضغط بعد 28 يوم . يهتم المعهد بأن لايزيد الفرق بين مقاومة تصميم الخلطة والمقاومة المميزة (f_{cu}) زيادة كبيره ويهتم كذلك بأن لا يحدث نقص فى المقاومة فى تجارب متلاحقة.

أ - فى حالة مقاومة الخرسانة المميزة للأسطوانة أقل من أو يساوى 350 كجم/سم² .
يجب أن تحقق المقاومة المميزة الإشتراطات التالية :
(1) المقاومة المميزة هى مقاومة الاسطوانة التى لايزيد احتمال فشل ثلاث اختبارات متتابعة من تحقيق تلك المقاومة عن 1% وينتج من هذا الشرط أن :

$f_m = f_{cy} + 1.346$
(2) المقاومة المميزة هى مقاومة الاسطوانة التى لايزيد احتمال نقص مقاومة الإختبار المفردة عنها بمقدار 35 كجم/سم² عن 1% وينتج من هذا الشرط أن :
 $f_m = f_{cy} + 2.336 - 35.0$

ب - فى حالة مقاومة الخرسانة المميزة الأكبر من 350 كجم/سم² .

(1) تستخدم الشرط الأول فى البند (أ) .
(2) المقاومة المميزة هى مقاومة الاسطوانة التى لايزيد احتمال نقص مقاومة إختبار واحد عنها بمقدار 0.10 كجم/سم² من المقاومة المميزة عن 1% وينتج من هذا الشرط أن :

$f_m = 0.90 f_{cy} + 2.336$
بحسب 6 من نتائج الاختبارات المتوفرة لظروف مشابهه بحيث لا يقل عدد العينات عن 30 .

فى حالة وجود عدد من الاختبارات أقل من 30 وأكبر من أو يساوى 15 يحسب used 6 لهذه العينات ويتم تكبير الانحراف المعيارى 6 بضربه فى معامل تكبير (f) للحصول على 6 used

وتحسب f طبقاً لجدول (5-30) .

(Characteristic compressive strength) وتكون العلاقة بينهما كما يلى :

$$f_m = f_{cu} + M$$

حيث M = هامش أمان $f_{cu} = f_m - M$.
أى أن المقاومة المميزة هى مقاومة أقل من المقاومة المتوسطة وأعلى من المقاومة الدنيا .

1-4-7-5 العلاقة بين مقاومة تصميم الخلطة (f_m) والمقاومة المميزة (f_{cu}) طبقاً للكود المصرى :

1 - تعريف المقاومة المميزة وتحديد هامش الأمان :

ويعرف الكود المصرى للخرسانة المقاومة المميزة بأنها مقاومة ضغط المكعب القياسى (15×15×15 سم) عند عمر 28 يوم والتي من غير المحتمل أن يقل عنها أكثر من 5% من عدد نتائج اختبارات تحديد المقاومة أثناء التنفيذ وهى المقاومة التى يقوم المهندس الإستشارى بتصميم القطاعات الخرسانية بناء عليها
ويحسب هامش الأمان M كما يلى :

$$M = K * 6$$

K = ثابت من احتمال فشل 5 % من العينات عن تحقيق المقاومة المميزة = 1.64 (جدول 5-1) .

6 = الإنحراف المعيارى لنتائج اختبارات مقاومة الخرسانة التى سبق للمقاول صيها فى ظروف مشابهه لظروف الإنشاء .

وجداول (5-29) يعطى قيم هامش الأمان سواء لخرسانة ذات مقاومة مميزه أكبر من أو أقل من 200 كجم /سم² ويلاحظ أن الأصل هو حساب الإنحراف المعيارى من النتائج السابقه ويعطى الكود قيم دنيا لهامش الأمان فى حالة توافر 40 نتيجة على الأقل . وفى حالة عدم توافر 40 نتيجة أو توافر نتائج أقل يعطى قيمة ثابتة لهامش الأمان كما هو موضح بجدول (5-29) .

- ويوصى الكود المصرى بعمل خلطات تجريبية فى المعمل الذى يقوم بتصميم الخلطة ثم يوصى الكود بتنفيذ خلطات تأكيديه للمقاومة .

2 - الخلطات التأكيديه :

Affirmative Mixes
يجب على منتج الخرسانه أن يقوم فى الموقع بتنفيذ ثلاث خلطات خرسانية بالكمية التى تنتج فى الموقع ومن كل خلطة يأخذ تسعة مكعبات ثلاثه منها تختبر عند عمر مبكر (ثلاثة أو سبعة أيام) والباقي تختبر عند عمر 28 يوم .

- تعتبر الخلطة ناجحه فى حالة أن تحقق نتائج اختبارات الثلاث خلطات عند عمر 28 يوم الشروط الآتية :

أ - لا يقل متوسط مقاومة الضغط بعد 28 يوم لـ 18 مكعب عن 95 % من مقاومة تصميم الخلطة .

ب - لا يقل متوسط الـ 18 مكعب عن المقاومة المميزة مضافاً إليها 65 كجم/سم²

ج - لا تقل مقاومة أى مكعب منفرد عن المقاومة المميزة .

د - لايزيد الفرق بين مقاومة أكبر مكعب وأصغر مكعب فى الخلطة الواحده عن 15% من متوسط مقاومة الستة مكعبات الخاصة بهذه الخلطة .

ويمكن للجهد المشرفه فى أى وقت عمل خلطات تأكيديه اضافية بالخامات الموجوده فى الموقع .

جدول (30-5) قيم معامل التصحيح .

عدد العينات	30	25	20	15
معامل التصحيح f	1	1.03	1.08	1.16

في حالة عدم وجود معلومات أو عدد اختبارات أقل من 15 إختبار يستخدم هامش أمان كما بجدول رقم (31-5) .
جدول (31-5) هامش الأمان كدالة من مقاومة الضغط في حالة عدم توفر نتائج أو توفر أقل من 15 نتيجة .

مستوى مقاومة الضغط كجم/سم ² f _{cy}	f _{cy} < 210	210 ≤ f _{cy} ≤ 350	f _{cy} > 350
هامش الأمان (M) كجم/سم ²	70	85	0.10 f _{cy} + 50

8-5 أمثلة على تصميم الخلطات الخرسانية .

مثال (1) :

المطلوب تصميم خلطات خرسانية لمنشأ مقاومته المميزة للإسطوانة 250 كجم / سم² إذا كان هبوط الخرسانة المطلوب للأساسات 15 سم وتعرض الخرسانة لمهاجمة الكبريتات معبراً عنها (SO₄ = 3000 جزء في المليون) والهبوط المطلوب لباقي المنشأ 10 سم إذا علم أن المقاس الإعتباري الأكبر لكسر الأحجار¹ ومعايير نعومة الرمل 2.6 والوزن النوعي للزلط والرمل 2.68 ، 2.6 ووحدة الوزن = 1.65 ، 1.70 طن/م³ على الترتيب بفرض أن الانحراف المعياري = 40 كجم/سم² .

تصميم الخلطة الخرسانية الخاصة بالأساسات

- من جدول (3-5) محتوى الماء = 205 كجم ومحتوى الهواء = 1.5 % .
- من جدول (5-5) يستخدم أسمنت مقاوم للكبريتات ونسبة الماء للأسمنت W/C1 = 0.45 ومقاومة الضغط الدنيا = 310 كجم/سم²
- مقاومة الضغط للإسطوانة = المقاومة القصوى من 250 ، 310 (المقاومة المميزة = 310 كجم /سم² .

$$f_{m1} = 310 + 1.34 (40) = 364.$$

$$f_{m2} = 310 + 2.33 (40) - 35 = 368 \text{ kg/cm}^2 .$$

$$f_{ue} f_{cy m} = 368 .$$

- من جدول (4-5) نسبة الماء للأسمنت W/C2 = 0.452 .

- نسبة الماء للأسمنت الدنيا = 0.45

- وزن الأسمنت = 0.45 / 205 = 455 كجم . تقريباً تؤخذ = 450 كجم .

- من جدول (7-5) حجم الزلط للمتر المكعب = 0.69 م³ .

وزن الزلط = 1.65 × 0.69 = 1138.5 كجم .

محتوى الرمل (S) بالتطبيق في مقاومة الحجم المطلق .

$$\frac{0.205}{1} + \frac{0.45}{3.15} + \frac{1.1385}{2.68} + \frac{S}{2.6} = 1 - \frac{1.5}{100}$$

● محتوى الرمل = 552 كجم .

وحدة وزن الخرسانة النظرية = γ_{th} تقريباً = 2.350 طن/م³

* تم عمل خلطة خرسانية في المعمل وبقياس وحدة وزن الخرسانة في المعمل = γ_{erp} = 2.40 طن/م³ .

وهذا يعنى أن الكميات المستخدمة لا تكفى لإنتاج 1م³ ويتم إجراء التصحيحات التالية .

$$\text{معامل التصحيح} = \frac{\gamma_{exp}}{\gamma_h} = 1.021$$

* الزيادة في الكميات يجب أن تكون في الزلط والرمل مع الإحتفاظ بمحتوى الأسمنت والماء ثابت

$$\text{الزلط المعدل} = 1.1385 \times 1.02 = 1.162$$

$$\text{الرمل المعدل} = 0.552 \times 1.02 = 0.563$$

$$\text{وزن الأسمنت الذى كان مفترض أن ينقص} = 0.021 \times 0.450 = 0.00945 \text{ طن}$$

$$\text{حجم الأسمنت الجامد} = 3.15 / 0.00945 = 0.003$$

$$\text{وزن الماء الذى كان من المفترض أن ينقص} = 0.021 \times 0.205 = 0.0043 \text{ طن}$$

$$\text{حجم الماء} = 0.0043 \text{ م}^3$$

$$\text{حجم الماء والأسمنت} = 0.0043 + 0.003 = 0.0073 \text{ م}^3$$

هذا الحجم يتم زيادته للركام .

لاحظ أن نسبة الزلط : الرمل

$$1.1385 : 558 =$$

$$2 : 1 \text{ نسبة}$$

$$\text{الوزن النوعي للركام الشامل} = 3 / (2.68 \times 2 + 2.60 \times 1) = 2.65$$

$$\text{وزن الركام ذو الحجم المكافئ لحجم الماء والأسمنت الذى كان المفترض زيادته} =$$

$$0.0192 = 2.65 \times 0.0073$$

$$\text{وزن الرمل الإضافي} = 3 / 1 \times 0.192 = 0.006$$

$$\text{وزن الزلط النهائى} = 1.162 + 0.0132 = 1.1752$$

$$\text{وزن الرمل النهائى} = 0.563 + 0.006 = 0.569$$

$$\text{وحدة الوزن} = 0.205 + 0.450 + 1.1752 + 0.569 = 2.399 \text{ طن/م}^3$$

تصميم الخلطة الخرسانية للمنشأ

من جدول (3-5) محتوى الماء 195 كجم ، مقاومة الضغط 250

$$f_{cym} = 250 + 1.34(40) = 304$$

$$f_{cym} = 250 + 2.33(40) - 35 = 308$$

$$f_{cym} = 308 \text{ kg/cm}^2$$

من جدول (4-5) نسبة الماء للأسمنت = 0.53

- محتوى الأسمنت = 0.53/195 = 368 كجم .
- لحساب محتوى الرمل

$$\frac{0.368}{3.15} + 0.195 + \frac{1.1385}{2.68} + \frac{S}{2.6} = 0.985$$

$$0.215 = \frac{S}{2.6}$$

محتوى الرمل = 646 كجم
الكثافة النظرية = 2.348

مثال (2) :

في المثال السابق اذا كانت الأساسات عبارة عن خوازيق يتم تنفيذها في بحيرة مريوط وكان تركيز أملاح الكلوريدات 40000 جزء في المليون وأملح الكبريتات مقدره ك SO3 = 3000 جزء في المليون صمم خلطة خرسانية بطريقه ACI لتلك الخوازيق مع اعتبار جميع المتغيرات الأخرى كما هي .

الحل :

يستخدم جدول (5-6) للخرسانة المعرضة للمهاجمة بالكلوريدات والكبريتات فيكون نسبة الـ $W/C = 0.40$ وتكون مقاومة الإسطوانة 350 كجم/سم² .
نسبة الماء للأسمنت الدنيا = 0.40
المقاومة المميزه القصوى = 350 كجم/سم² .

$$F_{eym} = 350 + 1.34 (40) = 404$$

$$F_{eym} = 0.9 \times 350 + 2.33 (40) = 408$$

من جدول (4-5) للمقاومات

نسبة W/C للمقاومات = 0.412
نستخدم $W/C = 0.40$

∴ محتوى الأسمنت = 0.40/205 = 512 كجم/سم² .
(محتوى الأسمنت عالى ويفضل استخدام مادة عالية التلدين)
يحسب محتوى الرمل S كما يلى .

$$\frac{0.512}{3.15} + \frac{0.205}{1} + \frac{S}{2.60} + \frac{1.1385}{2.68} = 0.985$$

محتوى الرمل = 500 كجم/م³
وحدة وزن الخرسانة = 2.355 طن/م³

مثال (3) : على طريقة المؤلف :

العلاقة بين المكعب والإسطوانة ليست ثابتة ولكنها متغيرة وتتراوح بين 80 ، 95 % ولذلك فإن الإنحراف المعيارى للإسطوانة = $(0.8)^{0.5}$ من الإنحراف المعيارى للمكعب .
المطلوب تصميم الخلطة السابقة بطريقة المؤلف وجداول التحمل للكوود المصرى بفرض استخدام اضافات عالية تلدين بنسبة 1% من وزن الأسمنت واستخدام ركام مكسر . وان المقاومة المميزه لتصميم المنشأ للمكعب 300 كجم /سم²
- محتوى الماء (W0) للركام المكسر = 213 كجم (جدول 5-18) .
محتوى الهواء المحبوس = 1.5 %
مقاومة ضغط المكعب الخرسانيه = 0.8/250 = 312 كجم/سم²

الإنحراف المعيارى للمكعب = $(0.8)/40 = 2^{1/4}$ = 45 كجم/سم²
من جدول (5-21) للتحميلية $W/C = 0.40$

محتوى الأسمنت 400 كجم / م³
مقاومة ضغط المكعب الدنيا = 400 كجم/سم² (أكبر من المقاومة المميزه للتصميم)
مقاومة الضغط القصوى = 400 كجم/سم²
مقاومة تصميم الخلطة = 400 + 1.64 (45) = 473.8 كجم/سم²
لوس أنجليوس للركام التى تحقق هذه المقاومة = 22.5 % (جدول 5-24) نختار كسر الأحجار التى تحقق ذلك .

من جدول (5-22) نسبة الماء للأسمنت = 0.42
نسبة W/C الدنيا = 0.40

محتوى الأسمنت = 0.40/213 = 532.5 (أولياً)

وزن الإضافة = $532.5 \times 100/1 = 53$ كجم .

لفرض الوزن النوعى للإضافة = 1.20

حجم الإضافة = $1.2/5.3 = 4.4$ لتر يستخدم 5 لتر .

محتوى الماء المكافى للإضافات = $5 \times 8 = 40$ لتر . (جدول 5-19)

ماء الخلط (W) = (213) - (40) = 173 لتر .

وزن الأسمنت الفعلى = $0.40/173 = 432.5$ لتر = 433

من جدول (5-25) نسبة الرمل / الركام S/A

محتوى الرمل (S) = 0.39 A

محتوى الركام الكبير (G) = 0.61 A

بالتطبيق فى معادلة الحجم المطلق .

$$0.173 + \frac{0.4330}{3.15} + \frac{0.394}{2.60} + \frac{0.614}{2.68} + 0.005 = 0.985$$

$$S = 0.693 \text{ ton} \quad G = 1.084 \text{ ton}$$

وحدة وزن الخرسانة = 2.39 طن / م³

مثال (4) على طريقة المؤلف :

المطلوب تصميم خلطة خرسانية مقاومة ضغط هذه الخلطة = 700 كجم/سم² وهبوطها 10 سم والمقاس الإعتبارى الأكبر لكسر الأحجار 2/1 بوصه ومعايير النعومة للرمل 2.8 استخدم خواص الركام السابق وأجرى التصحيحات اللازمه اذا علم أن الرمل به نسبة رطوبة 1.5 % والإمتصاص للركام الكبير = 1% . (استخدم طريقة المؤلف)

من جدول (5-18) محتوى الماء $W_o = 222$

محتوى الهواء = 2.5

المقاومة 700 كجم/سم² يستخدم كسر أحجار لوس أنجليوس له = 15 (جدول 5-24)

يستخدم دولوميت ويفرض أن وزنه النوعى = 2.68

من جدول (5-23) نسبة $W/C = 0.285$

محتوى الأسمنت التجريبي = $0.285/222 = 778$ هذا الأسمنت محتواه عالى جداً

يفضل استخدام مواد عالية التلدين بمحتوى 1.5% بفرض أن الأسمنت 600 كجم/م³

محتوى الإضافة باللتر = $1.2/600 \times 100/1.5 = 7.5$ لتر = 8 لتر (الوزن النوعى للإضافة = 1.2)

من جدول (5-19) $\Delta w = 64$

∴ محتوى الماء W = 222 - 64 = 158
∴ محتوى المواد الأسمنتية 554 = 0.285/158

يستخدم 10% غبار سليكا = 55 كجم
∴ الأسمنت = 504 كجم/م³

- من جدول (5-25) لنسبة الرمل للركام $S/A \cong 0.39$

$$g = (0.39)A.$$

$$G = (0.61)A \quad \text{ويكون الركام الكبير}$$

نفرض الوزن النوعي لغبار السليكا = 2.3

$$\frac{0.055}{2.3} + \frac{0.504}{3.15} + \frac{0.158}{1} + \frac{0.39A}{2.6} + \frac{0.61A}{2.68} + 0.008 = 0.975$$

الرمل (S) = 0.645 ، كسر الدولوميت = 1.01 طن/م³
- تصحيح رطوبة الرمل .

$$\frac{X1}{g - X1} = \frac{1.50}{100} = \frac{X1}{0.645 - X1} \therefore X1 = 9.5 \text{ Kg}$$

- تصحيح امتصاص الركام X2

$$\frac{X2}{G} = \frac{1}{100} = \frac{X2}{10.1}$$

$$= 10.1 \text{ Kg}$$

- محتوى الرمل = S + X1 = S1 = 654.5 كجم/م³

محتوى الماء = W1 = W - X1 + X2

$$= 158 - 9.5 + 10.1 = 158.6 \text{ كجم/م}^3$$

وحدة وزن الخرسانة = وحدة الوزن قبل التصحيح + X2 = 2.391 طن/م³

يتم عمل تجربة عملية وتصحيح وحدة الوزن والهبوط .

مثال (5) (الطريقة البريطانية):

المطلوب تصميم خلطة خرسانية لمنشأ يتعرض لظروف عادية مقاومة المميزه للمكعب = 40

ن/م² عند 28 يوم باستخدام أسمنت سريع التصلب وكان الهبوط المطلوب 150 مم وكان

الوزن النوعي للركام الكبير المكسر 2.6 والرمل في المنطقة الثانية للتدرج والمقاس الاعتباري

الأكبر 20 مم و الانحراف المعياري 5 ن/م² .

- من جدول (5-17) محتوى الماء 225 كجم/م³ .

- من جدول (5-16) المقاومة عند 28 يوم = 53 ن/م² .

- من شكل (5-10) من نقطة تقاطع نسبة W/C = 0.50 ، مقاومة 53 كجم/سم² نرسم منحنى

(بين منحنى مقاومة 80 ، 90 ن/م²) للعلاقة بين W/C ، مقاومة الضغط .

- مقاومة تصميم الخلطة = 40 + 1.64(5.0) = 48.2 ن/م² .

- من المنحنى المرسوم عند مقاومة 53 .

$$\therefore W/C = 0.52$$

محتوى الأسمنت = 0.52/225 = 433 كجم / م³ .

من شكل (5-11) نجد أن وحدة وزن الخرسانة = 2390 كجم/م³

$$\therefore \text{وزن الركام} = 2390 - 433 - 225 = 1732 \text{ كجم/م}^3$$

- من شكل (5-12) الهبوط 150 مم ونسبة ماء الى أسمنت 0.52 وللمنطقة (2) تكون نسبة

الرمل للركام المتوسطة 41.5 %

$$\text{- محتوى الرمل} = 1732 \times 0.415 = 719 \text{ كجم/م}^3$$

محتوى كسر الأحجار = 1013 كجم .

مثال 6 على ضبط الجودة :

الجدول التالي يحتوى على نتائج 50 اختبار ضغط مكعب قياسي . إحكم على ضبط جودة تلك

الخرسانة بناء على الكود المصرى والـ ACI .

(حسب المقاومة المميزه طبقاً للكود المصرى والـ ACI .

جدول قيم مقاومة الضغط كجم/سم² .

400	425	430	435	440	465	400	475	420	425
490	420	430	510	415	420	425	425	420	450
440	490	430	425	420	425	410	430	415	415
450	550	420	430	400	420	450	430	420	460
420	425	430	420	425	430	450	430	400	480

المقاومة القصوى للمكعب = 550 كجم/سم² .

المقاومة الدنيا للمكعب = 400 كجم/سم² .

الكود المصرى .

المقاومة المتوسطة للمكعب = 436 كجم /سم² .

الانحراف المعيارى 6 = 29 كجم/سم² .

معامل التغير = 436/29 = 6.7 % .

التحكم ممتاز (جدول 5-28) .

المقاومة المميزه للمكعب = المقاومة المتوسطة - 1.64(6) .

$$= 436 - 1.64(29) \cong 389$$

لأن الكود ينص على أن لا يقل هامش الأمان عن 65 كجم/سم² .

$$\therefore \text{المقاومة المميزه} = 436 - 65 = 371 \text{ كجم/سم}^2$$

طبقاً للـ ACI .

$$\text{مقاومة الأسطوانة المتوسطة} = 0.8 \times 436 = 348.8$$

$$\text{الانحراف المعيارى} = 29 \times (0.8)^{1/4} \cong 26$$

$$\text{مقاومة الأسطوانة المميزه} = 348.8 - 1.34 \times 26 = 314 \text{ كجم/سم}^2$$

$$\text{مقاومة الأسطوانة المميزه} = 348.8 - 2.33(26) + 35 = 323 \text{ كجم/سم}^2$$

$$\therefore \text{مقاومة الأسطوانة المميزه لهذا المشروع} = 314 \text{ كجم/سم}^2$$

مثال (7) :

المطلوب حساب مقاومة تصميم خلطة خرسانية مقاومة ضغط المكعب المميزه = 400

كجم/سم² (يتم الحل بالكود المصرى و ACI) اذا علم أن هذا المشروع سيتم تنفيذه بنفس خامات

وأسلوب المشروع ذو النتائج فى المثال السابق .

الكود المصرى .

$$F_{cum} = f_{cu} + 1.64 \sigma$$

$$F_{cum} = 400 + 1.64 (26) \cong 443$$

الكود المصرى ينص على أن الانحراف المعيارى لا يقل عن 40 كجم /سم²

$$F_{cum} = 400 + 1.64 (40).$$

$$F_{cum} = 465 \text{ kg/cm}^2 .$$

- طبقاً للـ ACI .

$$F_{cy} = 0.8 (400) = 320 \text{ kg/cm}^2 .$$

$$F_{cym1} = 320 + 1.34 (29) = 359 .$$

$$F_{cym2} = 320 + 2.33 (29) - 35.0 = 353$$

$$F_{cym} (\text{المقاومة التصميمية للخلطة}) = 359 \text{ kg/cm}^2 .$$